

TUGAS AKHIR - TM141585

**KARAKTERISASI PERPINDAHAN PANAS
KONVEKSI ALAMI PADA *ELLIPTICAL TUBE* DI
DALAM RONGGA ASIMETRI TERMAL DENGAN
 $AR = 2,5$; $CR = 0,4$ DAN $0,6$ SERTA $PR = 3,5a$**

NILA RAHMAWATI
NRP 02111440000053

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR - TM141585

**KARAKTERISASI PERPINDAHAN PANAS
KONVEKSI ALAMI PADA *ELLIPTICAL TUBE* DI
DALAM RONGGA ASIMETRI TERMAL DENGAN
 $AR = 2,5$; $CR = 0,4$ DAN $0,6$ SERTA $PR = 3,5a$**

NILA RAHMAWATI
NRP 02111440000053

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT - TM141585

**CHARACTERIZATION OF NATURAL
CONVECTION HEAT TRANSFER OVER
ELLIPTICAL TUBE INSIDE ASYMMETRICAL
THERMAL CAVITY WITH $AR = 2.5$;
 $CR = 0.4$; 0.6 AND $PR = 3.5a$**

NILA RAHMAWATI
NRP 02111440000053

Supervisor
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME

*Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018*

**KARAKTERISASI PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI
ALAMI PADA *ELLIPTICAL TUBE* DI DALAM
RONGGA ASIMETRI TERMAL DENGAN $AR=2.5$,
 $CR=0.4$ DAN 0.6 SERTA $PR=3.5a$**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NILA RAHMAWATI

NRP. 02111440000053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME (Pembimbing)
NIP. 195312191981031001
2. Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng. (Penguji I)
NIP. 196505051990031005
3. Ary Bachtiar K.P., ST. MT. PhD (Penguji II)
NIP. 197105241997021001

SURABAYA

JULI, 2018

**KARAKTERISASI PERPINDAHAN PANAS
KONVEKSI ALAMI PADA *ELLIPTICAL TUBE* DI
DALAM RONGGA ASIMETRI TERMAL DENGAN
 $AR = 2,5$; $CR = 0,4$ DAN $0,6$ SERTA $PR = 3,5a$**

Nama Mahasiswa : Nila Rahmawati
NRP : 02111440000053
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME

ABSTRAK

Elliptical tube dapat menjadi alternatif untuk digunakan pada *heat exchanger*, khususnya pada kondensor kulkas untuk meningkatkan perpindahan panas yang terjadi. Perlu dibuat penelitian dan eksperimen untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal sesuai dengan model kondensor aktual. Eksperimen ini dilakukan menggunakan *elliptical tube* dengan $AR (2a/2b) = 2,5$ yang disusun dengan posisi sumbu mayor vertikal dengan *pitch ratio* susunan tube (PR) sebesar 3,5a di dalam rongga asimetri termal yang memiliki *clearance ratio* (CR) sebesar 0,4 dan 0,6. Selain itu, eksperimen ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh CR terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alami *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal.

Dalam eksperimen ini akan digunakan 3 buah *elliptical tube* yang diletakkan di dalam rongga asimetri termal. *Electric heater* akan diletakkan di dalam *tube* sebagai sumber panas. Pemanasan pada *elliptical tube* dilakukan dengan menjaga agar temperatur permukaan *tube* tetap konstan sebesar 55, 65 dan 75°C. Kemudian dilakukan pembacaan data temperatur di 18 titik sekeliling permukaan *tube* serta temperatur udara dan dinding rongga.

Data temperatur yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung *Rayleigh number*, *Nusselt number* lokal (Nu_i) dan *Nusselt number* rerata tube (\overline{Nu}_t) untuk masing-masing nilai CR

dan temperatur *set point*. Dari penelitian ini diketahui bahwa terdapat pola distribusi temperatur permukaan *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal dimana temperatur terendah terjadi pada titik stagnasi ($\alpha=0^\circ$) dan meningkat hingga mencapai temperatur paling tinggi pada $\alpha = 180^\circ$. Selain itu, dari eksperimen didapatkan pula pola distribusi bilangan Nusselt lokal permukaan *elliptical tube*, pengaruh interaksi perpindahan panas antar tube, serta pengaruh CR terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alami *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal. Berdasarkan eksperimen, diketahui bahwa nilai Nusselt rerata tube pada CR 0.6 lebih besar daripada CR 0.4, selain itu CR juga berpengaruh pada perbedaan Nusselt rerata antar tube dimana pada CR 0.6, selisih Nu_3 dan Nu_2 lebih kecil daripada selisih pada CR 0.4.

Kata kunci : Elliptical tube, pitch ratio, clearance ratio, konveksi alami, rongga asimetri termal

**CHARACTERIZATION NATURAL CONVECTION
HEAT TRANSFER OVER ELLIPTICAL TUBE INSIDE
ASYMMETRICAL THERMAL CAVITY WITH $AR = 2.5$;
 $CR = 0.4$; 0.6 AND $PR = 3.5a$**

Name : Nila Rahmawati
NRP : 0211144000053
Department : Mechanical Engineering, FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME

ABSTRACT

Elliptical tube can be used in heat exchanger, especially in domestic refrigerator condenser to improve the heat transfer. It is important to make a research and experimental study to investigate natural convection heat transfer characteristic over elliptical tube inside asymmetrical thermal cavity based on the real case of actual domestic refrigerator condenser. This experimental study uses elliptical tube whose $AR (2a/2b) = 2.5$ arranged with major diameter in vertical orientation and spacing between tube (PR) $3.5a$ inside asymmetrical thermal cavity with variation of clearance ratio (CR) 0.4 and 0.6 . So, the aim of this experimental study is to investigate the characteristic of natural convection heat transfer over elliptical tube inside asymmetrical thermal cavity and to investigate the effect of CR to the characteristic of natural heat transfer.

This experiment is conducted by modeling the hot wall condenser in refrigerator by using 3 elliptical tube with electrical heater confined in it as the heat source. The three elliptical tube then put inside asymmetrical thermal cavity. Elliptical tube will be heated until the reference point reach set point temperatur (55 , 65 , and $75^{\circ}C$). And then, the temperature in 18 point on the elliptical tube surface and also the air temperature inside cavity is read.

Based on experimental data, it's show that there a pattern of temperature distribution over the surfaces of elliptical tube inside

asymmetrical thermal cavity. The highest temperature is at $\alpha = 180^\circ$ over elliptical tube surface and the lower temperature is at $\alpha=0^\circ$ (stagnation point). Beside that, this experiment results also shows the local Nusselt number distribution over elliptical tube surface, the effect of interaction in heat transfer inter-tube, and the effect of CR to the characteristic of natural convection heat transfer over elliptical tube inside asymmetrical thermal cavity.

Key words : Elliptical tube, pitch ratio, clearance ratio, natural convection, asymmetrical thermal cavity.

KATA PENGANTAR

Syukur dan segenap puji selalu teruntai kepada Allah SWT. karena atas rahmat dan pertolongan-Nya penulis diberikan kekuatan dan semangat sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul: ***“Karakterisasi Perpindahan Panas Konveksi Alami Pada Elliptical Tube di Dalam Rongga Asimetri Termal dengan $AR = 2.5$, $CR=0.4$ dan 0.6 , serta $PR=3.5a$.”***

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentunya tak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang turut menyempurnakan Tugas Akhir ini. Karenanya, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada :

1. Kedua orangtua penulis – Khusnul Hadi dan Hidayatus Sholichah atas do'a yang tak pernah putus serta kasih yang diam-diam senantiasa ada meski tak terucap.
2. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME. sebagai dosen pembimbing yang telah mengarahkan, dan memberi banyak pelajaran, bukan hanya pelajaran akademik namun juga pelajaran-pelajaran kehidupan.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Mesin FTI – ITS
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng., dan Bapak Ary Bachtiar Krishna Putra, ST. MT. Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir dan atas saran-saran yang telah diberikan.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTI – ITS atas ilmu yang diberikan.
6. Mas Erdien selaku Laboran Teknik Pendingin dan Pengondisian Udara yang telah membantu selama proses eksperimen.

7. Nabila Amelita Laelyani sebagai partner seperjuangan dalam Tugas Akhir ini yang telah bersama-sama melewati beberapa purnama untuk bekerja dan berpusing ria, tanpa lupa tertawa.
8. Intan Puri Rahayu sebagai sahabat, tempat berbagi cerita sejak pertama kali masuk kampus mesin ITS.
9. Varien Janitra yang dengan baik hati mengajari tentang *coding* akuisisi data dan *plotting* data eksperimen. Serta Satrio Haryo Prakoso atas segala diskusi dan ‘pemodelan’ serta *happiness equation* nya.
10. Laskar Perpan yang selalu menjadi tempat pulang yang nyaman meski ketika keadaan sedang tidak baik-baik saja, atas segala tawa dan kerecehan serta *sharing* wawasan yang biasa menjadi obrolan meja tiap hari.
11. Teman-teman TA Ceriaa, satu bimbingan Pak Budi, atas kerjasama dan bantuannya
12. Sapardi Djoko Damono serta penulis puisi dan novel sastra lainnya yang memberikan kesegaran dengan karyanya kala penulis tengah penat akan angka-angka.
13. Semua pihak dan semesta yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Tak ada gading yang tak retak, pun tak akan pernah ada efisiensi yang mencapai seratus persen. Keterbatasan akan selalu ada, tak terkecuali dalam kemampuan maupun pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran sebagai usaha untuk mendekati kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

‘Setelah badai terhebat, akan ada pelangi indah yang menanti’.

Surabaya, Juli 2018
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	vii
TITLE PAGE	ix
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined. vi
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR SIMBOL	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konveksi Alami.....	5
2.2 Konveksi Alami di Luar Silinder Sirkular.....	5
2.3 Konveksi Alami di Luar <i>Elliptical Tube</i>	6
2.4 Konveksi Alami di Dalam Rongga.....	7
2.5 Konveksi Alami Plat Datar Vertikal	8
2.6 Termokopel	9
2.7 Akuisisi Data Berbasis Arduino dan Excel	10

2.8	Penelitian Terdahulu.....	11
2.8.1	C.J. Ho dan J.Y. Chang (1993).....	11
2.8.2	H. M. Badr (1997)	13
2.8.3	M. Ashjaee dan T. Yousefi, 2007	15
2.8.4	Mehdi Ashjaee, dkk (2007)	18
BAB III METODOLOGI		21
3.1	Umum	21
3.2	Instalasi Penelitian.....	21
3.2.1	Perangkat Uji	21
3.2.2	Perangkat Akuisisi Data	24
3.3	Spesifikasi Alat.....	24
3.3.1	<i>Acrylic Rectangular Cavity</i>	24
3.3.2	<i>Elliptical Tube</i>	25
3.3.3	KTA-259 K Thermocouple Multiplexer.....	26
3.3.4	Arduino Mega.....	26
3.3.5	Elemen Pemanas.....	27
3.3.6	<i>Thermocontrol</i>	27
3.3.7	K Type Thermocouple Wire.....	27
3.4	Prosedur Penelitian.....	28
3.5	Rancangan Eksperimen	29
3.6	Flowchart.....	30
3.6.1	Flowchart Penelitian	30
3.6.2	Flowchart Pengambilan Data.....	31
3.6.3	Flowchart Perhitungan.....	33

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Hasil Pengujian	35
4.2 Contoh Perhitungan	35
4.2.1 Perhitungan Temperatur Udara di Dekat Permukaan <i>Tube</i>	35
4.2.2 Perhitungan Rayleigh Number Lokal	36
4.2.3 Perhitungan Nusselt Number Lokal	37
4.2.4 Perhitungan Nusselt Number Rerata <i>Tube</i>	37
4.3 Analisis.....	38
4.3.1 Distribusi Temperatur Permukaan Elliptical Tube	38
4.3.2 Bilangan <i>Nusselt</i> Lokal Permukaan <i>Elliptical Tube</i>	41
4.3.3 Pengaruh Susunan <i>Elliptical Tube</i> Terhadap Perpindahan Panas Konveksi Alami <i>Elliptical Tube</i> di Dalam Rongga Asimetri Termal	44
4.3.4 Pengaruh CR Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Permukaan <i>Elliptical Tube</i>	47
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN 1 : Hasil Pengukuran Temperatur	57
LAMPIRAN 2 : Persamaan Regresi Temperatur Udara di sisi Kanan dan Kiri <i>Cavity</i>	59
LAMPIRAN 3 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 55°C	61
LAMPIRAN 4 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 65°C	62
LAMPIRAN 5 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 75°C	63
LAMPIRAN 6 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 55°C	64

LAMPIRAN 7 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 65°C.....	65
LAMPIRAN 8 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 75°C.....	66
LAMPIRAN 9 : Visualisasi Garis Isotermal pada <i>Elliptical Tube</i> di Dalam Rongga Asimetri Termal (CR=0.4)	67
LAMPIRAN 10 : Visualisasi Garis Isotermal pada <i>Elliptical Tube</i> di Dalam Rongga Asimetri Termal (CR=0.6)	68
BIODATA PENULIS.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Boundary Layer</i> dan <i>Distribusi Nusselt Number</i> pada Sirkular Silinder yang Dipanasakan (Incropera)	6
Gambar 2. 2 Konveksi Alami pada Rongga Segiempat (<i>Incropera</i>)	7
Gambar 2. 3 <i>Cellular flow</i> pada Rongga Vertikal dengan Temperatur Dinding Samping yang Berbeda (<i>Incropera</i>)	8
Gambar 2. 4 Diagram Skema Termokopel	9
Gambar 2. 5 Diagram Sederhana Sistem Akuisisi Data	10
Gambar 2. 6 Tampilan Data Akuisisi Berbasis Excel dengan Bantuan Software PLXDAQ	10
Gambar 2. 7 Konfigurasi Fisik Eksperimen	11
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan <i>Aspect Ratio</i> terhadap <i>Nusselt Number</i> Rerata (a), dan Grafik Hubungan antara <i>Rayleigh Number</i> terhadap <i>Nusselt Number</i> Rerata	12
Gambar 2. 9 Grafik <i>Local Nusselt Number</i> untuk Variasi <i>AR</i> (1, – 2,50)	14
Gambar 2. 10 Pola <i>Streamline</i> (kiri) dan Pola Garis Isotermal (kanan) untuk Kasus $Ra = 10^4$, $\lambda = 90^\circ$ dan (a) <i>AR</i> = 2,50, (b) <i>AR</i> = 1,5, (c) <i>AR</i> = 1,25	14
Gambar 2. 11 Instalasi Eksperimen Susunan Sirkular Silinder	15
Gambar 2. 12 Grafik Pengaruh Jarak Spasi Silinder Sirkular Terhadap <i>Nusselt Number</i> Rata-rata	16
Gambar 2. 13 Grafik Pengaruh Jarak Spasi <i>Elliptical Tubes</i> Terhadap <i>Nusselt Number</i> Rata-rata	17

Gambar 2. 14 Instalasi Eksperimen (a), dan Hasil Eksperimen : Grafik Pengaruh <i>Rayleigh Number</i> Terhadap <i>Nusselt Number</i> Rata-rata (b).....	19
Gambar 3. 1Skema Perangkat Uji	22
Gambar 3.2 Skema Penempatan <i>Elliptical Tubes</i> Dalam Rongga Asimetri Termal	23
Gambar 3.3 Perangkat Akuisisi Data.....	24
Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian	30
Gambar 3. 5 Flowchart Perhitungan.....	32
Gambar 3. 6 Flowchart Perhitungan.....	33
Gambar 4. 1 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan <i>Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 55°C.....	38
Gambar 4. 2 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan <i>Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 65°C.....	39
Gambar 4. 3 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan <i>Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 75°C.....	39
Gambar 4. 4 Distribusi <i>Nusselt Number</i> untuk Silinder Tunggal	41
Gambar 4. 5 Grafik <i>Nusselt Lokal Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 55°C	42
Gambar 4. 6 Grafik <i>Nusselt Lokal Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 65°C	43
Gambar 4. 7 Grafik <i>Nusselt Lokal Elliptical Tube</i> untuk <i>Set Point</i> 75°C	44
Gambar 4. 8 Grafik Rasio Nu_4/Nu_3 untuk CR = 0.4	45
Gambar 4. 9 Grafik Rasio Nu_1/Nu_3 untuk CR = 0.6	46
Gambar 4. 10 <i>Nusselt Rerata Tube</i> untuk Variasi CR dan <i>Set Point</i> pada $\alpha < 180^\circ$	47

Gambar 4. 11 Nusselt Rerata <i>tube</i> untuk Variasi CR dan <i>Set Point</i> pada $\alpha > 180^\circ$	47
Gambar 4. 12 Koefisien Konveksi Lokal <i>Tube 3</i> , <i>Set Point</i> 55°C	49
Gambar 4. 13 Koefisien Konveksi Lokal <i>Tube 3</i> , <i>Set Point</i> 65°C	50
Gambar 4. 14 Koefisien Konveksi Lokal <i>Tube 3</i> , <i>Set Point</i> 75°C	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>NuD</i> serta <i>RaDn</i> Berdasarkan Diameter Silinder	6
Tabel 2. 2 Konstanta C_2 , <i>Ct</i> dan m untuk Korelasi <i>Nusselt Number</i> Konveksi Alami di Luar <i>Elliptical Cylinder</i>	7
Tabel 2. 3 Tipe Termokopel	9
Tabel 2. 4 Koefisien a_i , b_i , dan c_i	13
 Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Rectangular Cavity</i>	25
Tabel 3. 2 Spesifikasi <i>Elliptical Tube</i>	25
Tabel 3. 3 Spesifikasi KTA-259 K Thermocouple Multiplexer	26
Tabel 3.9 Rancangan Pengambilan Data Eksperimen Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Alami <i>Elliptical Tube</i> di Dalam Rongga Asimetri Termal	29
Tabel 3. 10 Data Variasi, Terukur, dan Perhitungan yang Dilakukan	29
 Tabel 4. 1 Distribusi Temperatur Udara untuk CR 0.4	35
Tabel 4. 2 Tabel Distribusi Temperatur Tube 2, CR 0.4, Set Point 55°C	36

DAFTAR SIMBOL

$2a$	= Diameter mayor <i>elliptical tube</i>
$2b$	= Diameter minor <i>elliptical tube</i>
AR	= Aspect Ratio , perbandingan diameter mayor dan minor <i>elliptical tube</i> = $2a/2b$
X	= Jarak <i>tube</i> terhadap dinding terinsulasi
Y	= Lebar <i>cavity</i>
CR	= Clearance Ratio, perbandingan jarak tube terhadap dinding terinsulasi dengan lebar rongga (X/Y)
PR	= <i>Pitch Ratio</i> , perbandingan jarak antar tube dengan diameter mayor
H	= Tinggi <i>cavity</i> = 239,75 cm
N_i	= <i>Number of tube</i>
T_s	= Temperatur permukaan tube
T_a	= Temperatur fluida diantara tube
T_{aw}	= Temperatur dinding <i>cavity</i>
Ra	= Rayleigh number
Nu	= Bilangan Nusselt lokal
\overline{Nu}	= Bilangan Nusselt Rerata
Ra	= <i>Rayleigh number</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat exchanger atau pesawat penukar panas banyak digunakan pada aplikasi industri maupun peralatan elektronik dalam kehidupan sehari-hari seperti *air-conditioning*, *power production*, *waste heat recovery*, *chemical processing*, *refrigerator*, dan lain sebagainya. Pesawat penukar panas merupakan suatu alat yang memfasilitasi terjadinya pertukaran panas antara dua fluida atau lebih yang berbeda temperatur.

Kondensor kulkas merupakan salah satu contoh aplikasi *heat exchanger* dalam kehidupan sehari-hari. Kondensor berfungsi untuk melepas panas yang diterima refrigeran dari ruang pendinginan. Selama ini dikenal beberapa tipe kondensor yang sering dipakai pada kulkas yakni *wire-and-tube* dan *hot wall condenser*. *Wire-and-tube condenser* terdiri atas *tube* tunggal dan kawat baja yang berfungsi sebagai *extended surface* yang disusun menjadi bentuk *serpentine tube* dan terletak di bagian belakang kulkas. *Hot wall condenser* terdiri atas *tube* yang dipasang di dalam dinding dan berkontak langsung dengan plat terluar kulkas. *Hot wall condenser* terletak pada dinding kanan-kiri kulkas. *Hot wall condenser* ini banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan seperti aman terhadap akumulasi kotoran dari luar, serta memiliki area perpindahan panas yang relatif lebih luas.

Selama ini *hot wall condenser* menggunakan *tube* dengan penampang lingkaran (*circular tube*). Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa *elliptical tube* memberikan performa perpindahan panas yang lebih baik daripada *circular tube* (T. Yousefi, 2007). Menurut Mehdi Ashjaee, 2007 *elliptical tube* memiliki performa perpindahan panas yang lebih baik dari pada *circular tube* karena bentuk penampang elips yang lebih mendekati bentuk *vertical plate* sehingga *buoyancy flow* dapat mengalir dengan hambatan yang lebih kecil.

Salah satu penelitian mengenai *elliptical tube* telah dilakukan oleh Kalyana Raman dan K. Arul Prakash (2012) mengenai studi numerik konveksi alami *elliptical tube* yang diletakkan di tengah rongga kubus (*square cavity*) dengan posisi sumbu mayor horizontal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *cavity ratio* pada rongga kubus, bilangan *Rayleigh* (Ra), serta *aspect ratio* (AR) *elliptical tube* terhadap karakter perpindahan panas konveksi alami. Kasus yang dianalisis dalam studi numerik ini berupa rongga kubus dengan *cavity ratio* 2,5 dan 5,0 dengan variasi Ra sebesar 10^4 , 10^5 , dan 10^6 , serta menggunakan *elliptical tube* dengan $AR = 5, 2,5, 1,67, 1,25$, dan 1. Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi nilai Ra maka perpindahan panas yang terjadi juga semakin tinggi. Untuk orientasi *elliptical tube* horizontal, semakin besar AR maka perpindahan panas yang terjadi juga semakin kecil.

Penelitian tentang perpindahan panas pada *elliptical tube* juga dilakukan oleh T. Yousefi dan M.Ashjaee (2007) tentang studi eksperimental konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan posisi sumbu mayor vertikal. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan bahwa pada *tube* di baris paling bawah menunjukkan karakteristik perpindahan panas yang identik dengan perpindahan panas pada *single cylinder*. Sedangkan silinder bagian *downstream* mengalami kenaikan laju perpindahan panas seiring dengan meningkatnya jarak antar silinder.

Selain itu, penelitian juga dilakukan oleh Mehdi Ashjaee dkk. (2007) untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada *elliptical tube* yang diletakkan di dalam rongga. Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimental menggunakan *elliptic tube* dengan AR 0.53, 0.67, 0.8, dan 1 di dalam dinding adiabatik. Dari penelitian ini didapatkan bahwa *Nusselt number* akan meningkat dengan kenaikan Ra dan penurunan AR .

Elliptical tube dapat menjadi alternatif untuk digunakan pada kondensor kulkas demi meningkatkan perpindahan panas yang terjadi. Sehingga, perlu dibuat eksperimen dan penelitian untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada *elliptical tube*

di dalam rongga asimetri termal sesuai dengan model kondensor aktual. Eksperimen ini akan dilakukan menggunakan *elliptical tube* dengan $AR (2a/2b) = 2,5$ yang disusun dengan posisi sumbu mayor vertikal dengan *pitch ratio* susunan *tube* (PR) sebesar 3,5a di dalam rongga asimetri termal yang memiliki *clearance ratio* (CR) sebesar 0,4 dan 0,7.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisis karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan sumbu mayor vertikal, dan AR 2,5 yang diletakkan di dalam rongga asimetri termal.
2. Bagaimana pengaruh CR terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan sumbu mayor vertikal, dan AR 2,5 di dalam rongga asimetri termal.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. *Elliptical tube* yang digunakan memiliki $AR (2a/2b)$ sebesar 2,5
2. *Elliptical tube* yang digunakan berjumlah 3 buah dan disusun dengan posisi sumbu mayor vertikal.
3. *Elliptical tube* di susun dengan PR sebesar 3,5a
4. Rongga asimetri termal memiliki variasi CR 0,4 dan 0,7
5. *Elliptical tube* dipanaskan menggunakan *electric heater*.
6. Perpindahan panas melalui radiasi diabaikan.
7. Perpindahan panas konveksi alami hanya ditinjau secara dua dimensi.
8. Perpindahan panas konveksi alami terjadi pada kondisi tunak.
9. Pengukuran temperatur menggunakan *K-type thermocouple wire* di 24 titik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan sumbu mayor vertikal, dan AR 2,5 yang diletakkan di dalam rongga asimetri termal.
2. Mengetahui pengaruh pengaruh CR terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan sumbu mayor vertikal, dan AR 2,5 di dalam rongga asimetri termal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan pengetahuan mengenai karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada susunan *elliptical tube* dengan sumbu mayor vertikal, dan AR 2,5 yang diletakkan di dalam rongga asimetri termal.
2. Mendapatkan referensi dalam upaya mengoptimalkan perpindahan panas pada *elliptical tube*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konveksi Alami

Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan berdasarkan aliran fluidanya, yakni konveksi paksa dan konveksi alami. Konveksi paksa terjadi ketika gerakan fluida timbul karena adanya daya dari luar seperti *fan*, pompa, atau angin. Sebaliknya konveksi alami terjadi apabila gerakan fluida terjadi bukan karena daya eksternal tetapi karena efek gaya apung (*buoyancy force*). Korelasi *Nusselt number* sederhana untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi alami adalah sebagai berikut:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C(Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan Ra_L^n adalah *Rayleigh number* yang merupakan fungsi dari *Grashof* (Gr) dan *Prandtl number* (Pr). Untuk konstanta C dan n ditentukan berdasarkan geometri permukaan dan aliran fluida. Nilai n untuk aliran laminar adalah $\frac{1}{4}$ dan untuk turbulen adalah $\frac{1}{3}$. Nilai untuk konstanta C , biasanya kurang dari 1 dan bervariasi sesuai dengan geometri permukaan.

2.2 Konveksi Alami di Luar Silinder Sirkular

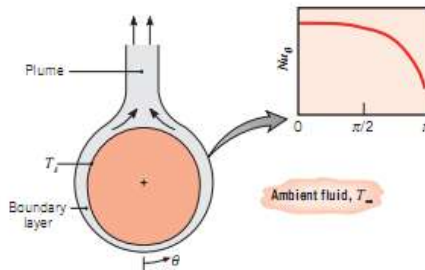
Geometri sangat berpengaruh pada perpindahan panas konveksi. Berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas dan korelasinya. Salah satunya yakni penelitian tentang konveksi alami di luar silinder sirkular oleh Morgan. Morgan memberikan korelasi perpindahan panas konveksi sebagai berikut :

$$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h}D}{k} = C Ra_D^n \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana C dan n sesuai tabel 2.1 dan \overline{Nu}_D serta Ra_D^n berdasarkan diameter silinder.

Tabel 2. 1 \overline{Nu}_D serta Ra_D^n Berdasarkan Diameter Silinder

Ra_D	C	n
10^{-10} – 10^{-2}	0.675	0.058
10^{-2} – 10^2	1.02	0.148
10^2 – 10^4	0.850	0.188
10^4 – 10^7	0.480	0.250
10^7 – 10^{12}	0.125	0.333

**Gambar 2. 1** *Boundary Layer* dan *Distribusi Nusselt Number* pada Sirkular Silinder yang Dipanaskan (Incropera)

2.3 Konveksi Alami di Luar *Elliptical Tube*


Penelitian juga pernah dilakukan untuk mempelajari karakter perpindahan panas konveksi alami di luar *elliptical tube*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Raithby dan Hollands, didapatkan korelasi *Nusselt number* untuk perpindahan panas konveksi alami di luar silinder eliptik, sebagai berikut:

$$Nu_\ell = \frac{C_2}{\ln(1 + C_2/Nu^T)}$$

$$Nu_t = \overline{C}_t Ra^{1/3} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

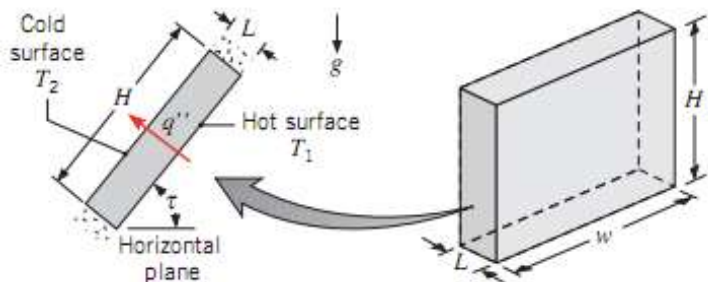
Nu_L merupakan *Nusselt number* untuk aliran laminar, dan Nu_t untuk aliran turbulen. Nilai C_2 , \overline{C}_t dan m dapat diperoleh dari tabel berikut:

Tabel 2. 2 Konstanta C_2 , \bar{C}_t dan m untuk Korelasi Nusselt Number Konveksi Alami di Luar *Elliptical Cylinder*

Geometry and geometric parameters	GL	f_1	G	C_2	\overline{C}_t				m	
					$Pr =$					
					0.71	6.0	100	2000		
	$Nu = \bar{h}L/k$	1.0	3.142	0.772	1.6	0.103	0.109	0.097	0.088	10
		0.8	2.836	0.819	1.7	0.103	0.109	0.096	0.087	10
	$Ra = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu\alpha}$	0.6	2.553	0.870	1.8	0.103	0.110	0.095	0.084	10
		0.4	2.301	0.924	1.9	0.103	0.111	0.094	0.080	10
	$P = Lf_1$	0.2	2.101	0.973	2.0	0.103	0.112	0.092	0.073	10
		0.1	2.032	0.991	2.0	0.103	0.112	0.091	0.068	10
		0.0	2.000	1.000	2.0	0.103	0.113	0.091	0.064	10

2.4 Konveksi Alami di Dalam Rongga

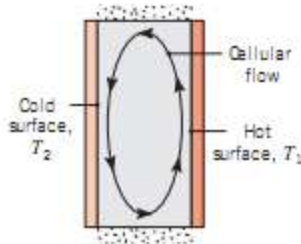
Konveksi alami bisa terjadi di dalam ruangan atau rongga tertutup yang berisi fluida dan memiliki perbedaan temperatur. Kasus seperti ini disebut sebagai perpindahan panas konveksi dalam selubung tertutup (*enclosure*) seperti pada *square enclosure* di bawah ini.



Gambar 2. 2 Konveksi Alami pada Rongga Segiempat (*Incropera*)

Rongga segiempat tegak ($\tau = 90^\circ$) pada Gambar 2.2 memiliki dua dinding vertikal yang berbeda temperatur (panas dan dingin) serta dinding horizontal adiabatik. Karena terdapat perbedaan temperatur, maka akan menyebabkan terjadinya perbedaan densitas fluida yang mengisi rongga segiempat

tersebut. Akibatnya, akan timbul gerakan fluida karena *buoyancy force* dan terjadilah perpindahan panas konveksi alami di dalam rongga. Pergerakan fluida yang terjadi berupa *recirculating* atau *cellular flow* di mana fluida di dekat dinding yang temperaturnya lebih tinggi akan bergerak naik ke atas dan bergerak sebaliknya untuk fluida di dekat dinding yang bertemperatur lebih rendah. Aliran konveksi alami di dalam rongga tampak seperti pada Gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2.3 *Cellular flow* pada Rongga Vertikal dengan Temperatur Dinding Samping yang Berbeda (Incropera)

Perpindahan panas konveksi alami di dalam rongga telah banyak diteliti baik secara eksperimental maupun numerik. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai *Nusselt number* untuk perpindahan panas konveksi alami di dalam rongga merupakan fungsi dari *Rayleigh number*, *Prandtl number*, dan *aspect ratio* rongga yang merupakan perbandingan antara tinggi dan lebar rongga.

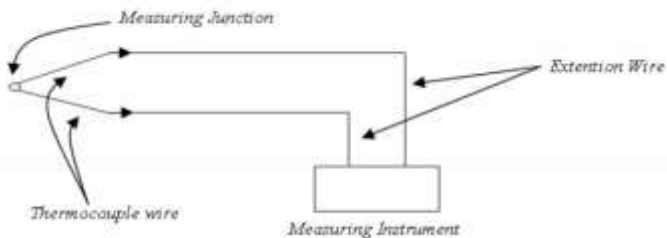
2.5 Konveksi Alami Plat Datar Vertikal

Penelitian mengenai konveksi alami pada plat datar dilakukan oleh Churchill and Chu. Dari penelitiannya didapatkan korelasi empirik konveksi alami plat datar sebagai berikut

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} ; Ra_L \leq 10^9 \dots\dots\dots 2.4$$

2.6 Termokopel

Termokopel merupakan sensor temperatur yang banyak digunakan dan bekerja dengan mengubah perbedaan temperatur benda menjadi perbedaan tegangan listrik. Sensor ini dapat mendeteksi temperatur dalam jangkauan yang cukup luas dan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C . Termokopel terdiri dari dua konduktor atau termoelemen yang berbeda dan dihubungkan menjadi satu rangkaian. Elemen tersebut menghasilkan beda tegangan atau *electromotive force* (emf), yang kemudian emf yang dihasilkan dibandingkan dengan skala konversi tertentu menjadi unit temperatur. Diagram skema termokopel dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Diagram Skema Termokopel

Ada banyak tipe termokopel yang tersedia saat ini. Standard tertentu telah dibuat dalam bentuk kode huruf untuk membedakan tipe termokopel berdasarkan material logam yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 3 Tipe Termokopel

Type	Material	Normal Range
J	Iron-constantan	-190°C to 760°C
T	Copper-constantan	-200°C to 371°C
K	Chromel-alumel	-190°C to 1260°C
E	Chromel-constantan	-100°C to 1260°C
S	90% platinum + 10% rhodium-platinum	0°C to 1482°C
R	87% platinum + 13% rhodium-platinum	0°C to 1428°C

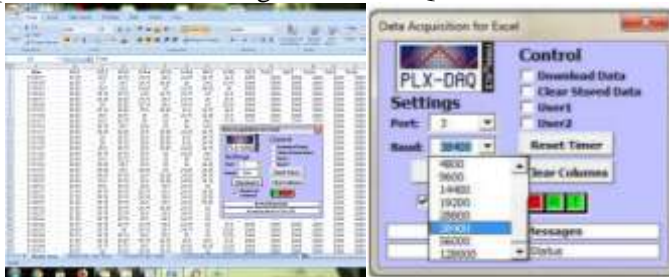
2.7 Akuisisi Data Berbasis Arduino dan Excel

Akuisisi data berbasis komputer telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan perangkat digital untuk akuisisi dan penyimpanan data. Dengan berbasis komputer, proses akuisisi data dapat berlangsung dengan lebih mudah dan dengan tampilan hasil pengukuran yang lebih menarik. Gambar di bawah ini menunjukkan skema komponen utama dari akuisisi data berbasis komputer.



Gambar 2. 5 Diagram Sederhana Sistem Akuisisi Data

Teknik sederhana dalam akuisisi data berbasis komputer dilakukan dengan menghubungkan *transducer* dengan komputer menggunakan perangkat akuisisi. Perangkat akuisisi akan mentransfer data ke dalam komputer. *Programming* untuk data akuisisi dapat dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman tekstual seperti *matlab*, *labview*, atau *arduinoIDE*. Hasil pengukuran dapat ditampilkan ke dalam Excel dengan bantuan perangkat lunak seperti *Paralax- DAQ*. Berikut contoh tampilan akuisisi data dengan PLX-DAQ:



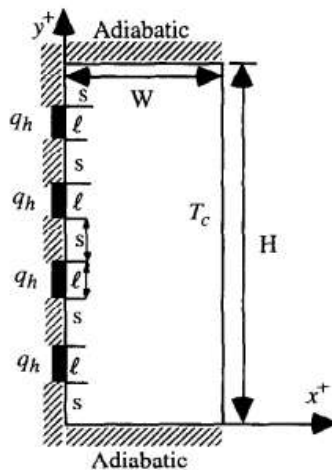
Gambar 2. 6 Tampilan Data Akuisisi Berbasis Excel dengan Bantuan Software PLXDAQ

2.8 Penelitian Terdahulu

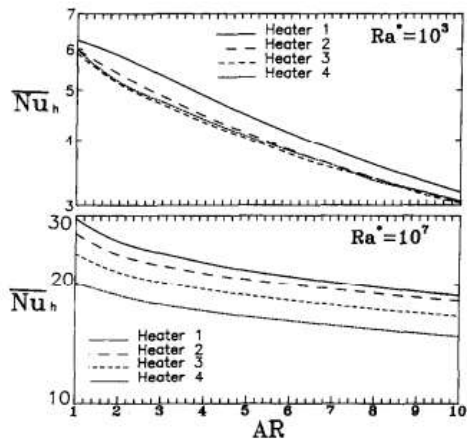
2.8.1 C.J. Ho dan J.Y. Chang (1993)

C.J. Ho dan J.Y. Chang melakukan penelitian mengenai perpindahan panas konveksi alami pada rongga rectangular dengan pemanasan diskrit. Penelitian dilakukan dengan pendekatan numerik dan eksperimen untuk mendapatkan korelasi yang sesuai dan untuk mengetahui pengaruh *aspect ratio* rongga terhadap perpindahan panas. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan rongga rectangular yang salah satu dinding vertikalnya dipasang empat buah heater dengan jarak tertentu dan dinding atas serta bawah diinsulasi. Konfigurasi fisik dari penelitian Ho dan Chang adalah seperti gambar 2.13.

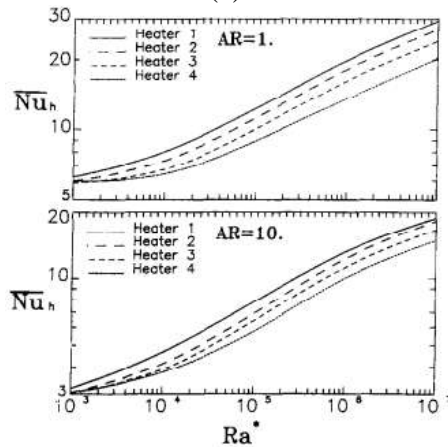
Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa nilai Nusselt number rerata untuk heater semakin kecil dengan semakin besarnya *aspect ratio* (H/W). Selain itu, diketahui pula bahwa semakin tinggi Ra , nilai Nusselt number juga semakin tinggi. Grafik hubungan Nu dan *aspect ratio* serta Ra ditunjukkan oleh gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2. 7 Konfigurasi Fisik Eksperimen



(a)



(b)

Gambar 2. 8 Grafik Hubungan *Aspect Ratio* terhadap *Nusselt Number* Rerata (a), dan Grafik Hubungan antara *Rayleigh Number* terhadap *Nusselt Number* Rerata

Selain itu, dari eksperimen juga didapatkan korelasi untuk menghitung nilai Nusselt number untuk masing-masing

heater untuk nilai Ra antara 10^4 - 10^6 dan $AR = 1$ - 10 . Berikut ini korelasi yang didapatkan :

$$(\overline{Nu}_h)_i = a_i(Ra^*)^{b_i}(AR^*)^{c_i}$$

Dengan nilai konstanta a_i , b_i , dan c_i ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 4 Koefisien a_i , b_i , dan c_i

i	a_i	b_i	c_i
1	1.459	0.194	-0.237
2	1.157	0.206	-0.241
3	1.049	0.202	-0.213
4	0.977	0.194	-0.188

2.8.2 H. M. Badr (1997)

Penelitian mengenai pengaruh sudut orientasi *elliptical tube* terhadap karakteristik konveksi alami telah dilakukan oleh H.M. Badr (1997). Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan numerik. *Elliptical tube* dimodelkan memiliki temperatur permukaan yang konstan (isothermal). Pendekatan numerik dilakukan untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan massa, momentum, dan energi. Variasi di dalam penelitian ini meliputi orientasi *tube* ($\lambda=0^\circ$ dan $\lambda=90^\circ$), *aspect ratio* (2,5 sampai 1), dan *Rayleigh number* (10^3 dan 10^4). Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa *Nusselt number* maksimum dicapai ketika posisi *major axis* berada di posisi vertikal (sudut orientasi 90°). Untuk rentang AR 2,5 – 1, didapatkan bahwa semakin besar AR , perpindahan panas yang terjadi juga semakin besar. Semakin besar *Rayleigh number*, maka *Nusselt number* lokal dan rata-rata juga semakin besar serta akan meningkatkan laju perpindahan panasnya.

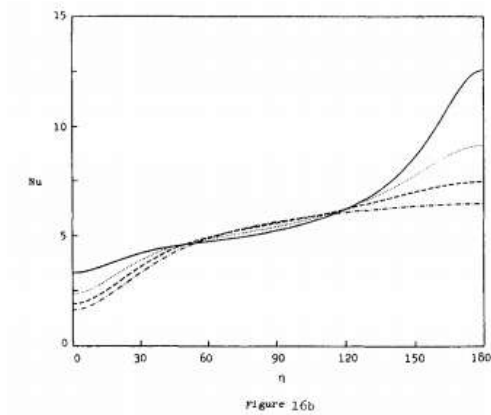
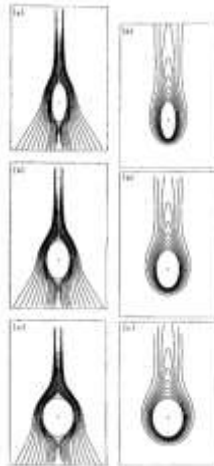


Fig. 16 The effect of axis ratio on the local Nusselt number distribution when the major axis is vertical and (a) $Ra = 10^3$, (b) $Ra = 10^4$: (—) $Ar = 0.4$; (·····) $Ar = 0.6$; (-----) $Ar = 0.8$; (- · - · -) $Ar = 0.98$

Gambar 2. 9 Grafik *Local Nusselt Number* untuk Variasi AR (1, – 2,50)



Gambar 2. 10 Pola *Streamline* (kiri) dan Pola Garis Isotermal (kanan) untuk Kasus $Ra = 10^4$, $\lambda = 90^\circ$ dan (a) $AR = 2,50$, (b) $AR = 1,5$, (c) $AR = 1,25$

2.8.3 M. Ashjaee dan T. Yousefi, 2007

Penelitian tentang konveksi alami di luar silinder telah banyak dilakukan, salah satunya yang dilakukan oleh M. Ashjaee dan T. Yousefi, 2007 yang meneliti tentang konveksi alami laminar susunan vertikal silinder sirkular pada kondisi isothermal. Silinder disusun vertikal dengan jarak antarsilinder sebesar 2 hingga 5 kali diameter silinder. Jarak inilah yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap perpindahan panas silinder tunggal dan susunan silinder.

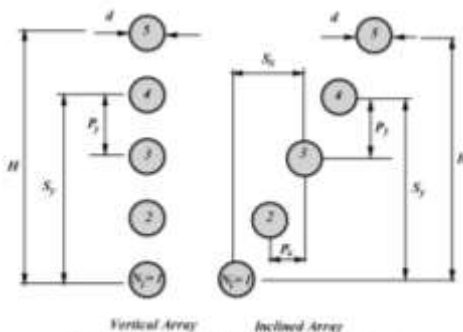


Figure 1 Schematic of the vertical and inclined array.

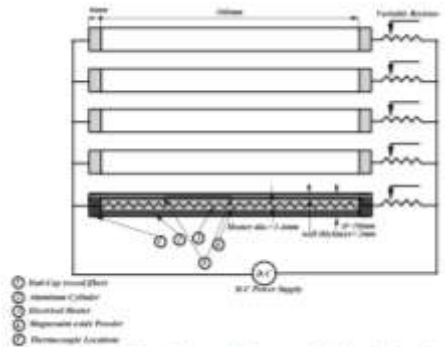


Figure 4 Detail of the cylinder used in the array with the heating circuit.

Gambar 2. 11 Instalasi Eksperimen Susunan Sirkular Silinder

Penelitian dilakukan menggunakan eksperimen dengan bantuan *Mach-Zender Interferometer* (MZI). Silinder yang digunakan merupakan silinder aluminium dengan diameter 10 mm dan panjang 160 mm.

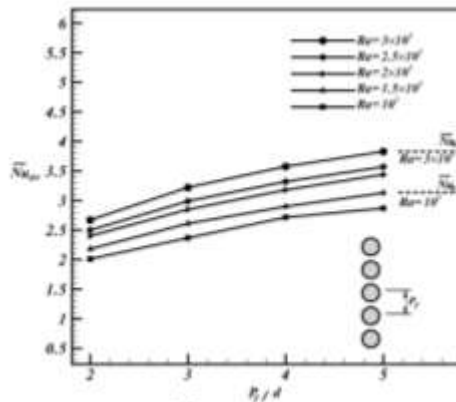


Figure 9 Distributions of \overline{Nu}_{av} vs. P_y/d for different Rayleigh numbers.

Gambar 2. 12 Grafik Pengaruh Jarak Spasi Silinder Sirkular Terhadap *Nusselt Number* Rata-rata

Berdasarkan eksperimen, didapatkan bahwa *Nusselt number* untuk susunan silinder sirkular (Nu_{av}) merupakan nilai rata-rata aritmatik *Nusselt number* dari masing-masing silinder tunggal. Nilai Nu_{avg} meningkat seiring dengan peningkatan *Rayleigh number* dan jarak antarsilinder (P_y/d). Selain itu, juga didapatkan korelasi Nu_{avg} untuk susunan sirkular silinder, yaitu:

$$\overline{Nu}_{av} = Ra^{0.235} \left[0.47 \ln(P_y/d)^{0.4} + 0.27 \right]$$

$$N = 5$$

$$2 \leq P_y/d \leq 5$$

$$10^3 \leq Ra \leq 3 \times 10^5$$

Selain itu, M. Ashjaee dan T. Yousefi juga melakukan penelitian yang sama untuk bentuk *elliptical tubes* yang disusun dengan *major axis* vertikal seperti pada Gambar 2.11 di bawah ini. *Elliptical tubes* aluminium yang digunakan memiliki *aspect ratio* (AR) sebesar 1,5 yang disusun dengan variasi jarak antarsilinder (S/a) sebesar 2, 3, 4, dan 5.

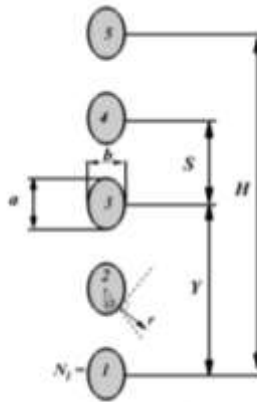
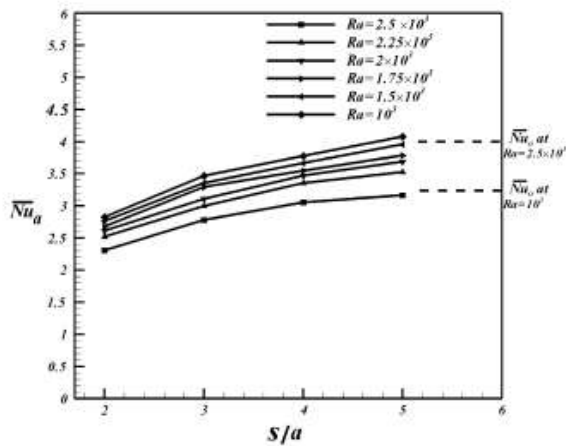


Fig. 1. Schematic of the vertical array of elliptic cylinders.



Gambar 2. 13 Grafik Pengaruh Jarak Spasi *Elliptical Tubes* Terhadap *Nusselt Number* Rata-rata

Berdasarkan eksperimen, didapatkan bahwa *Nusselt number* semakin meningkat seiring dengan kenaikan nilai S/a dan *Rayleigh number*. Selain itu, dari eksperimen ini juga didapatkan korelasi *Nusselt number* rata-rata untuk susunan *elliptical tubes* dengan AR 1,5, yaitu :

$$\overline{Nu}_a = Ra^{0.25} [0.183 \ln(S/a) + 0.28]$$

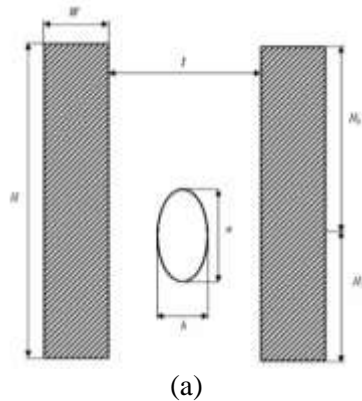
$$2 \leq S/a \leq 5$$

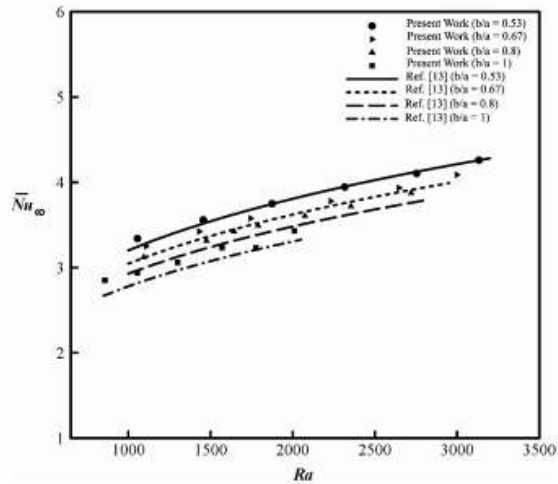
$$10^3 \leq Ra \leq 2.5 \times 10^3,$$

Dari dua penelitian yang telah dilakukan oleh M. Ashjaee dan T. Yousefi, terlihat bahwa susunan *elliptical tubes* memiliki nilai Nu_{avg} yang lebih tinggi daripada Nu_{avg} susunan silinder sirkular.

2.8.4 Mehdi Ashjaee, dkk (2007)

Penelitian tentang karakteristik perpindahan panas *elliptical tubes* di dalam rongga pernah dilakukan oleh Mehdi Ashjaee, dkk (2007). Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan *elliptic tube* isothermal dengan *aspect ratio* (a/b) bervariasi (1,89; 1,5; 1,25; dan 1) yang diletakkan di antara dua dinding adiabatik seperti pada gambar di bawah ini:





(b)

Gambar 2. 14 Instalasi Eksperimen (a), dan Hasil Eksperimen : Grafik Pengaruh *Rayleigh Number* Terhadap *Nusselt Number* Rata-rata (b)

Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa *Nusselt number* semakin meningkat dengan meningkatnya *aspect ratio* dari *elliptical tubes*. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar *aspect ratio*, maka geometri *elliptical tubes* semakin pipih dan menyerupai *vertical plate*, sehingga *induced flow* yang terjadi karena *buoyancy force* dapat mengalir dengan resistansi yang lebih kecil.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

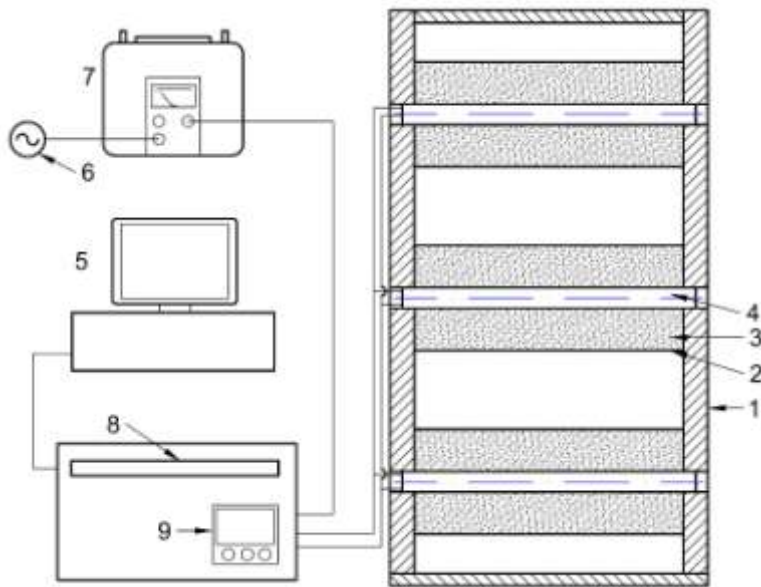
Perancangan perangkat eksperimen uji karakteristik perpindahan panas konveksi alami pada *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal ini akan dilakukan di laboratorium Rekayasa Termal departemen Teknik Mesin ITS Surabaya. Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini yakni dengan mengidentifikasi masalah, melakukan studi literatur untuk membahas analisis yang akan dilakukakn, merancang perangkat eksperimen, pemasangan perangkat eksperimen, pengambilan data, melakukan analisis data yang didapat sehingga mendapatkan kesimpulan dari hasil analisis.

3.2 Instalasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan perangkat eksperimen untuk menyelidiki karakteristik perpindahan panas konveksi alami *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal. Perangkat eksperimen ini terdiri atas perangkat uji dan perangkat akuisisi data.

3.2.1 Perangkat Uji

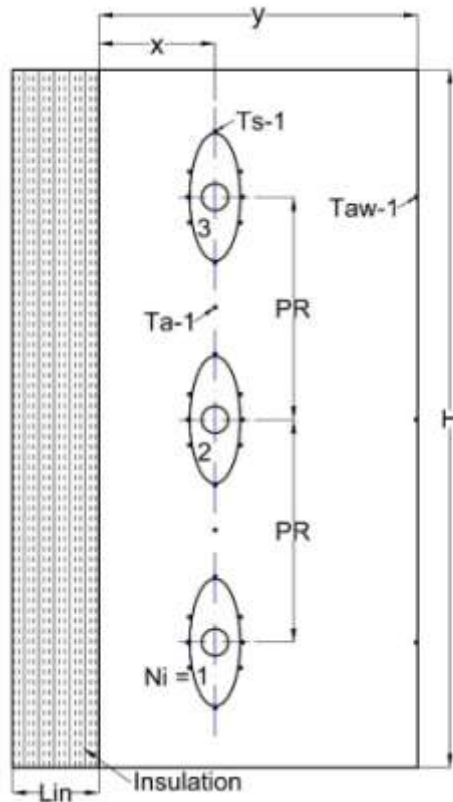
Perangkat uji berupa *rectangular cavity* (rongga segiempat tertutup) yang di dalamnya terdapat susunan *elliptical tube*. *Rectangular cavity* terbuat dari akrilik bening. *Elliptical tube* dibuat dari *tube* tembaga silinder dengan diameter 1,25" yang kemudian mengalami proses *pressing* menggunakan cetakan hingga membentuk elips dengan ukuran diameter mayor sebesar 4,3 cm dan diameter minor 1,7 cm ($AR = 2,5$). *Electric heater* diletakkan di dalam *elliptical tube* yang akan memanaskan *tube* hingga permukaannya mencapai temperatur tertentu. Karakteristik perpindahan panas konveksi alami dapat dilihat dari distribusi temperatur yang terjadi. Berikut ini skema dari perangkat uji.



Gambar 3. 1Skema Perangkat Uji

Keterangan :

1. Kotak Akrilik
2. *Elliptical Tubes*
3. Serbuk Besi
4. *Catridge Heater*
5. Komputer
6. *Power supply*
7. *Voltage Regulator*
8. *Arduino&Shield Multiplexer*
9. *Thermocontrol*



Gambar 3.2 Skema Penempatan *Elliptical Tubes* Dalam Rongga Asimetri Termal

Keterangan :

H = tinggi rongga = 239,75 cm

PR = Pitch Ratio = 3,5a

X/Y = Clearance Ratio = 0,4 dan 0,7

N_i = Number of tube

T_s = Termokopel di permukaan tube

T_a = Termokopel diantara tube

T_{aw} = Termokopel di dinding

3.2.2 Perangkat Akuisisi Data

Karakteristik perpindahan panas konveksi dapat dikaji dari distribusi temperatur di sekeliling permukaan *elliptical tube*. Untuk itu, diperlukan perangkat akuisisi data yang mampu membaca temperatur di banyak titik secara bersamaan. Perangkat akuisisi data ini berbasis Arduino dan Excel serta menggunakan *thermocouple multiplexer* untuk integrasi pembacaan temperatur dari banyak termokopel. Hasil pembacaan data dapat ditampilkan dalam *Microsoft Excel* dengan bantuan *software Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ)*.




Gambar 3.3 Perangkat Akuisisi Data

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 *Acrylic Rectangular Cavity*

Acrylic rectangular cavity diperlukan untuk mencegah adanya aliran udara masuk atau keluar *cavity* agar konveksi alami hanya terjadi di dalam *cavity*.

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Rectangular Cavity*

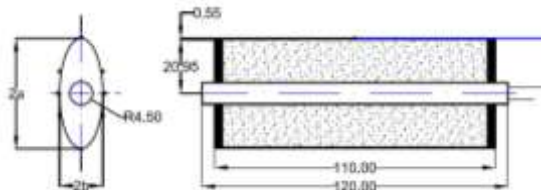
Material	Akrilik bening	
Tebal plat sisi muka	10 mm	
Tebal plat	7 mm	
Panjang	130 mm	
Lebar	141 mm	
Tinggi	239,75 mm	
Y	107 mm	
X	Y/2 dan 2Y/3	
PR	3,5a	

3.3.2 Elliptical Tube

Elliptical tube yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari *tube* sirkular yang melalui proses *pressing* menggunakan *dies* kayu hingga bentuk penampangnya berubah menjadi elips.


Tabel 3. 2 Spesifikasi *Elliptical Tube*

Diameter mayor	2a	4,3 cm
Diameter minor	2b	1,7 cm
<i>Aspect Ratio</i>	a/b	2,5
Diameter ekuivalen	1,25"	1,25"
Jumlah <i>elliptical tube</i>	N _i	3
Panjang <i>elliptical tube</i>	L _t	11 cm
<i>Pitch ratio</i>	PR	3,5a



3.3.3 KTA-259 K Thermocouple Multiplexer

KTA-259 K *Thermocouple Multiplexer* merupakan perangkat untuk melakukan pembacaan dari banyak termokopel secara bersamaan. Spesifikasi KTA-259 adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Spesifikasi KTA-259 K Thermocouple Multiplexer	
<ul style="list-style-type: none"> - Dapat dipasang hingga 8 buah termokopel - Menggunakan termokopel tipe K - Range suhu yang dapat dibaca adalah 0-1024°C - 0.1" (2.54mm) Pitch Screw Terminals for Thermocouple connection 	

3.3.4 Arduino Mega

Arduino ini berfungsi sebagai alat untuk merekam data digital yang telah ditangkap oleh KTA-259 K *multiplexer shield* agar dapat ditampilkan ke komputer. Arduino Mega 2560 memiliki spesifikasi seperti berikut ini :

Tabel 3. 4 Spesifikasi Arduino Mega 2560	
Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5 V
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g
Jumlah digital I/O pin	54
Jumlah analog input pin	16




3.3.5 Elemen Pemanas

Elemen pemanas berfungsi untuk memanaskan *elliptical tube* hingga permukaannya mencapai temperatur tertentu. Elemen pemanas yang dipakai adalah elemen pemanas tipe *cartridge heater*. Spesifikasi elemen pemanas yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Spesifikasi <i>Electric Cartridge Heater</i>		
Pembuat	Sinus Electricheat	
Panjang	12 cm	
Elemen pemanas	220v x 130 W	
Jumlah	3 buah	
Bahan	Stainless Steel	


3.3.6 Thermocontrol

Thermocontrol merupakan perangkat un ctuk mengendalikan temperatur permukaan *tube* sesuai dengan temperatur *set point* yang telah ditentukan. Berikut ini spesifikasi *thermocontrol* :

Tabel 3. 6 Spesifikasi <i>Thermocontrol</i>		
Merk	RKC REX-C100	
Power supply	100 to 240 VAC	
Sensor	K Thermocouple Probe Cable	
Range	0 - 400°C	

3.3.7 K Type Thermocouple Wire

Distribusi temperatur pada 32 titik ukur dipetik menggunakan termokopel. Termokopel yang digunakan yakni *wire thermocouple* tipe K sesuai standar JIS C 1610 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Spesifikasi K Type Thermocouple Wire		
Tipe konduktor	Serabut	
Material konduktor	(+) NiCr, (-) NiAl	
Material insulasi	PVC	
Dimensi	2 x 7mm x 0.2 mm	
Range temperatur	-20°C - 150°C	

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan proses, diantaranya :

1. Tahap Persiapan
 - a. Sistem peralatan uji konveksi alami dipastikan sudah tersusun dengan baik. *Elliptical tube* sudah dipasang pada posisi yang benar sesuai dengan jarak $PR = 3,5a$ dan CR tertentu serta *thermocouple* dipastikan sudah diletakkan dengan baik di tiap titik ukur.
 - b. *Set point thermocontrol* dipastikan pada nilai 0°C .
 - c. *Thermocouple* referensi dipasang pada *heater*.
2. Tahap Pengambilan Data
 - a. Perangkat eksperimen dihubungkan ke sumber listrik melalui saklar utama.
 - b. *Thermocontrol* dinyalakan dengan menahan saklar tegangan *thermocontrol* pada posisi ON.
 - c. *Set point thermocontrol* diatur pada nilai set point tertentu, misal 55°C .
 - d. Perangkat akuisisi data diaktifkan.
 - e. Ditunggu hingga temperatur referensi mencapai set point yang sudah ditentukan.
 - f. Apabila set point temperatur referensi sudah tercapai, maka ditunggu minimal dua jam hingga mencapai keadaan steady.
 - g. Catat waktu ketika keadaan steady tercapai. Lalu data siap diambil selama 1 jam.
 - h. Prosedur di atas dilakukan untuk posisi peletakan susunan silinder elips di dalam rongga dengan CR sebesar 0,4 dan 0,6 serta set point thermocontrol 55, 65 dan 75°C .
 - i. Setelah pengambilan data selesai, perangkat eksperimen dimatikan dengan menekan saklar, perangkat akuisisi data juga dimatikan.

3.5 Rancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini menggunakan dua variasi, yakni *clearance ratio*(CR) cavity serta *set point thermocontrol* . CR yang digunakan sebesar 0,4 dan 0,6 sedangkan *set point thermocontrol* divariasikan sebesar 55, 65 dan 75°C. Data yang diambil yakni temperatur pada 18 titik di sekeliling permukaan *elliptical tube* (Tc 1.1 – Tc 3.6). Tc 1.1 sampai Tc 1.8 merupakan termokopel yang mengukur temperatur di sekeliling *elliptical tube* yang paling bawah (*elliptical tube* 3). Tc 2.1 sampai Tc 2.8 mengukur temperatur di sekeliling *elliptical tube* 2. Sedangkan Tc 3.1 sampai Tc. 3.8 mengukur temperatur di sekeliling *elliptical tube* 1. Selain itu, juga dilakukan pengambilan data temperatur fluida diantara *elliptical tube* dan pada dinding cavity yang tak terinsulasi. Rancangan pengambilan data eksperimen untuk pengamatan karakteristik perpindahan panas konveksi alami dapat dilihat pada gambar berikut.

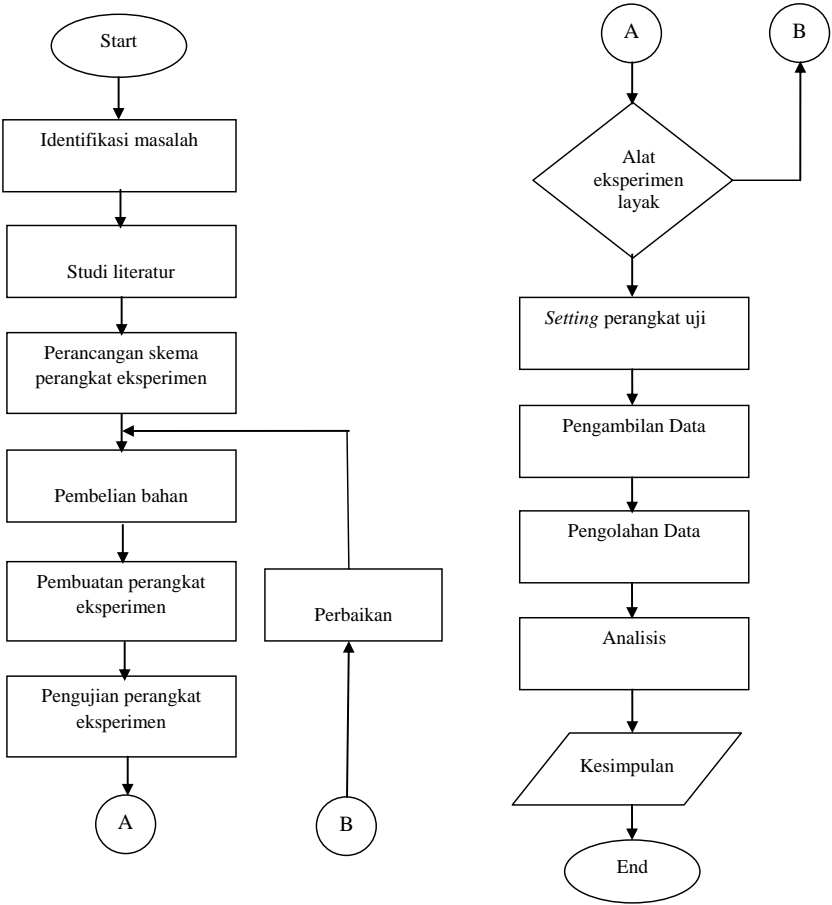
Tabel 3.4 Rancangan Pengambilan Data Eksperimen Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Alami *Elliptical Tube* di Dalam Rongga Asimetri Termal

Time	Tc 1.1	Tc 1.2	Tc 1.3	Tc 1.4	Tc 1.5	Tc 1.6	Tc 3.8

Tabel 3. 5 Data Variasi, Terukur, dan Perhitungan yang Dilakukan

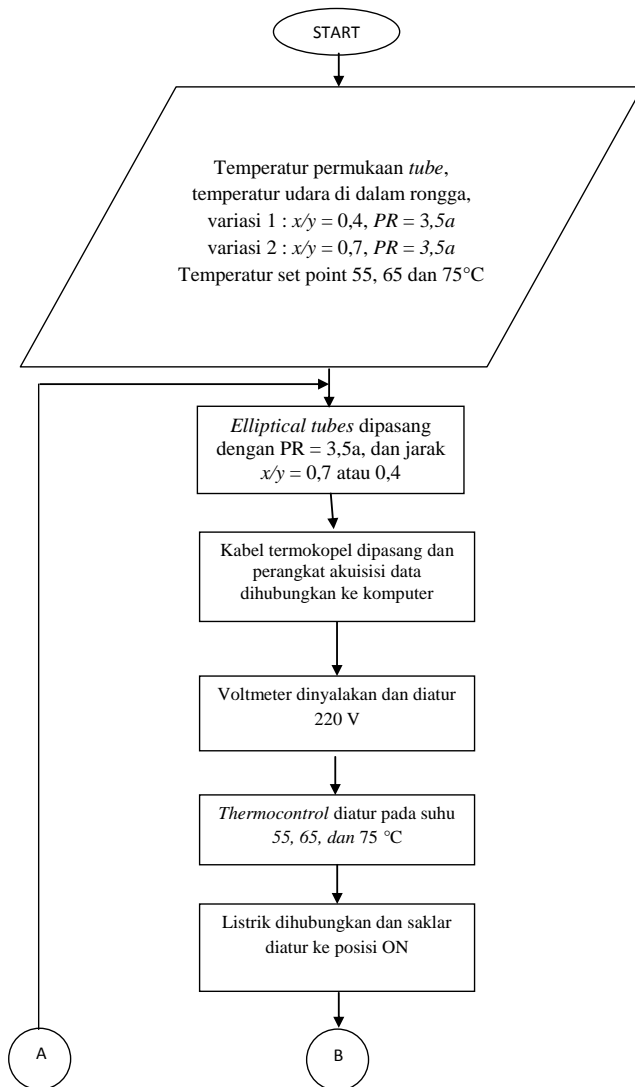
	Variasi		Terukur	Perhitungan
$PR = 3,5a$	T set point 55°C	$CR = x/y = 0,4$	$T_1 - T_{18}$	$\overline{Nu}, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$
		$CR = x/y = 0,6$	$T_1 - T_{18}$	$\overline{Nu}, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$
	T set point 65°C	$CR = x/y = 0,4$	$T_1 - T_{18}$	$Nu, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$
		$CR = x/y = 0,6$	$T_1 - T_{18}$	$\overline{Nu}, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$
	T set point 75°C	$CR = x/y = 0,6$	$T_1 - T_{18}$	$\overline{Nu}, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$
		$CR = x/y = 0,6$	$T_1 - T_{18}$	$Nu, Nu_1, Nu_{2,...,18}, Nu_{18}$

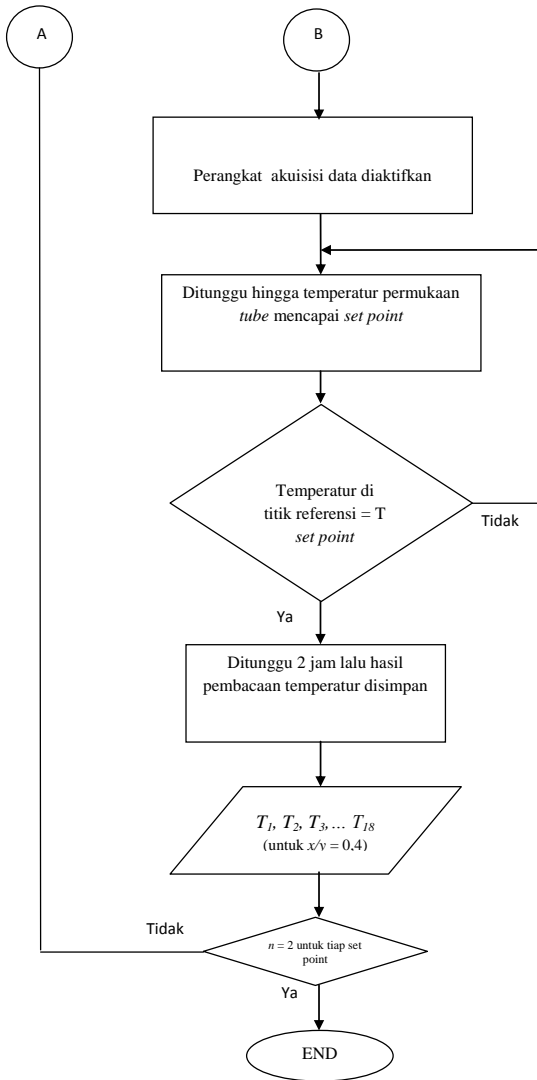
3.6 Flowchart
3.6.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian

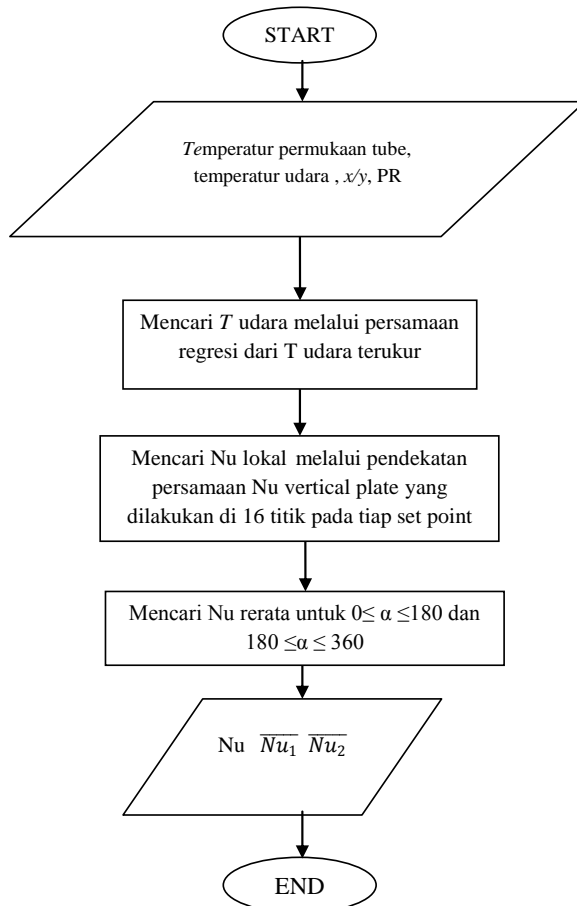
3.6.2 Flowchart Pengambilan Data





Gambar 3. 5 Flowchart Perhitungan

3.6.3 Flowchart Perhitungan



Gambar 3. 6 Flowchart Perhitungan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Berdasarkan eksperimen, didapatkan temperatur di 18 titik permukaan *tube* dan 10 titik temperatur udara di dalam *cavity*, serta 2 titik temperatur dinding logam. Data yang lebih detail dicantumkan dalam lampiran.

4.2 Contoh Perhitungan

Set Point 55°C, CR 0.4

Dari hasil pengujian di dapatkan :

- Temperatur 18 titik di permukaan *elliptical tube*
- Temperatur udara di 4 titik sekitar dinding terinsulasi
- Temperatur udara di 4 titik sekitar dinding logam
- Temperatur udara diantara *tube*
- Temperatur dinding logam

4.2.1 Perhitungan Temperatur Udara di Dekat Permukaan *Tube*

Temperatur udara di dekat titik ukur temperatur di permukaan *tube* didapatkan melalui persamaan regresi non-linear dari data temperatur udara yang diukur. Berikut ini persamaaan regresi temperatur udara untuk CR 0.4.

Tabel 4. 1 Distribusi Temperatur Udara untuk CR 0.4

CR	Set Point	Jarak y/H				persamaan
		0.058	0.323	0.664	0.939	
0.4	55	34	38.12	42.29	47.47	$y = 18.391x^3 - 24.695x^2 + 22.631x + 32.767$
	65	36.78	42.08	54.81	55.15	$y = -98.973x^3 + 132.03x^2 - 17.789x + 37.387$
	75	41.05	47.66	55.63	63.86	$y = 15.021x^3 - 18.289x^2 + 30.013x + 39.368$

Persamaan regresi distribusi temperatur selanjutnya digunakan untuk menentukan temperatur udara di dekat titik ukur permukaan tube dengan memasukkan variabel y/H, yakni perbandingan jarak titik ukur terhadap tinggi *cavity*.

4.2.2 Perhitungan Rayleigh Number Lokal

- Set Point 55°C, CR 0.4, Distribusi temperatur di tube 1 :

Tabel 4. 2 Tabel Distribusi Temperatur Tube 2, CR 0.4, Set Point 55°C

Titik	T _s	T _∞
1	58.9	47.47
2	58.5	46.64846
3	58.2	44.21393
4	55.98	47.12
5	58.01	43.1255
6	58.47	44.00619

- Perhitungan temperatur film (T_f) :

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$\text{Untuk titik 1 : } T_f = \frac{58.9 + 47.47}{2} = 53.185^\circ\text{C} = 326.185 \text{ K}$$

- Perhitungan koefisien ekspansi termal (β) :

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{326.185} = 0.00307 \text{ K}^{-1}$$

- Mencari *properties* udara :

$$\text{Thermal diffusivity } (\alpha) = 0.000025527 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Kinematic viscosity } (\nu) = 0.000018266 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Prandtl number (Pr)} = 0.73701$$

$$\text{Conductivity (k)} = 0.027829 \text{ W/m.K}$$

- Menghitung Rayleigh number :

$$\text{Gravitasi} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 0.00307 \text{ K}^{-1}$$

$$T_s = 58.9^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 47.47^\circ\text{C}$$

$$L = 0.016616 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Ra &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\
 &= \frac{(9.8)(0.00307)(58.9 - 47.47)0.016616^3}{(0.000018266)(0.000025527)} \\
 &= 3382.00622
 \end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Nusselt Number Lokal

Untuk mendapatkan Nusselt number lokal permukaan tube, dilakukan pendekatan persamaan Nusselt untuk vertical plate sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \overline{Nu}_L &= 0.68 + \frac{0.670Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \\
 \overline{Nu}_L &= 0.68 + \frac{0.670(3382.00622)_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.73701}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \\
 &= 4.618
 \end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan Nusselt Number Rerata Tube

Titik	L	Nu plate
1	0.016616	4.617964
2	0.016616	4.660253
3	0.016616	4.834602
4	0.016616	4.385395
5	0.016616	4.91345
6	0.016616	4.878342

- Nusselt rerata sisi kanan tube ($\alpha < 180^\circ$) :

$$\overline{Nu} = \frac{(Nu1 \times L) + (Nu2 \times L) + (Nu3 \times L) + (Nu4 \times L)}{4 \times L}$$

$$\overline{Nu} = \frac{(4.62 \times 0.016616) + (4.66 \times 0.016616) + (4.83 \times 0.016616) + (4.39 \times 0.016616)}{4 \times 0.016616}$$

$$\overline{Nu} = 4.624553$$

- Nusselt rerata sisi kiri tube ($\alpha > 180^\circ$) :

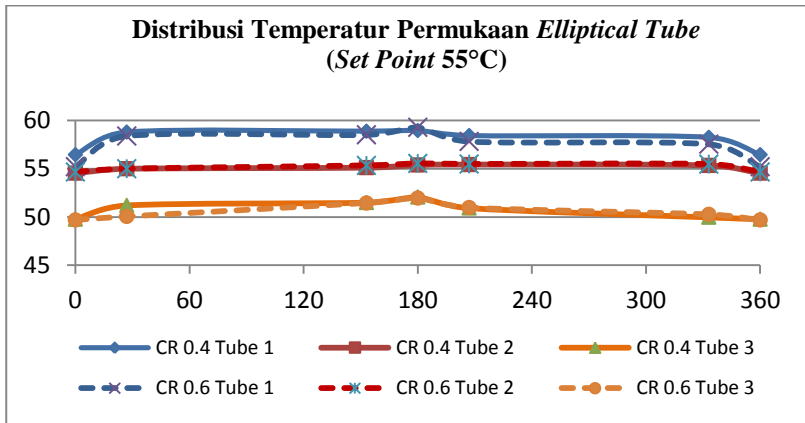
$$\overline{Nu} = \frac{(Nu1 \times L) + (Nu6 \times L) + (Nu5 \times L) + (Nu4 \times L)}{4 \times L}$$

$$\overline{Nu} = \frac{(4.62 \times 0.016616) + (4.88 \times 0.016616) + (4.91 \times 0.016616) + (4.88 \times 0.016616)}{4 \times 0.016616}$$

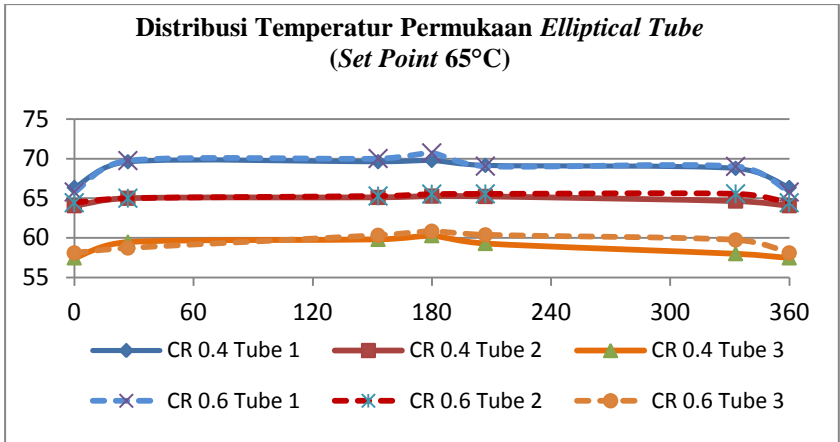
$$\overline{Nu} = 4.698788$$

4.3 Analisis

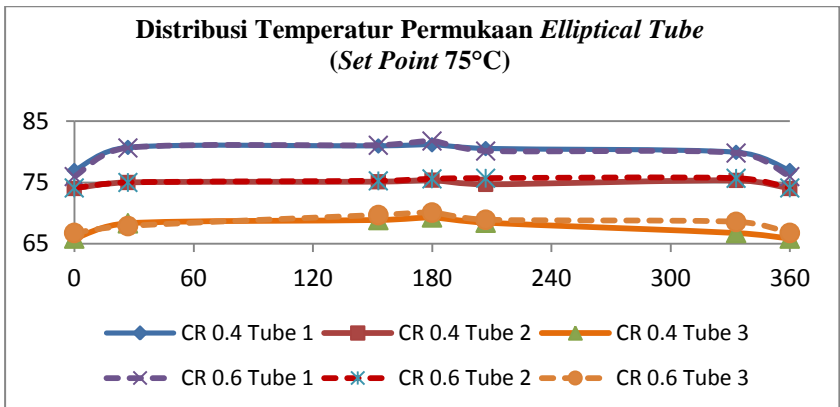
4.3.1 Distribusi Temperatur Permukaan Elliptical Tube



Gambar 4. 1 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan
Elliptical Tube untuk Set Point 55°C



Gambar 4. 2 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan
Elliptical Tube untuk Set Point 65°C



Gambar 4. 3 Grafik Distribusi Temperatur Permukaan
Elliptical Tube untuk Set Point 75°C

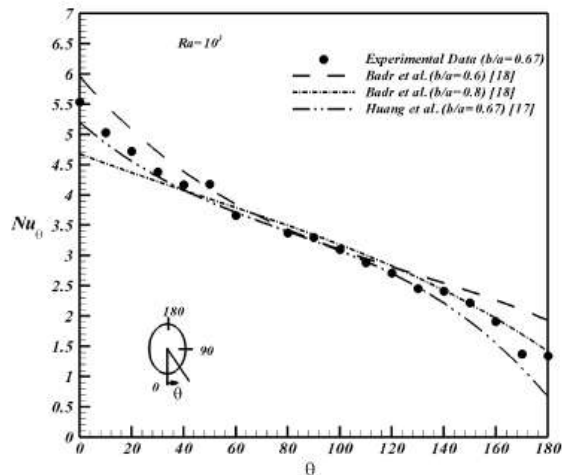
Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 di atas menunjukkan distribusi temperatur permukaan *elliptical tube* mulai dari $\alpha = 0^\circ$ hingga $\alpha = 360^\circ$ pada tiap *set point* temperatur referensi. Pada masing-masing *tube* menunjukkan *trend* yang hampir sama yakni temperatur tertinggi selalu terjadi pada $\alpha = 180^\circ$ lalu mengalami penurunan hingga mencapai temperatur terendah pada $\alpha = 360^\circ$. Temperatur tertinggi terjadi pada *tube* 1 yang merupakan *tube* teratas pada susunan *elliptical tube* sedangkan temperatur terendah terjadi pada *tube* 3 yang terletak paling bawah.

Pola seperti ini dapat terjadi pada perpindahan panas konveksi alami untuk susunan *tube* karena dalam susunan tersebut akan terdapat interaksi perpindahan panas antar *tube*. Untuk *tube* paling bawah (*tube* 3) tidak mendapat pengaruh perpindahan panas dari *tube* sebelumnya (*tube* hulu) dan memiliki karakter seperti *tube* tunggal. Sedangkan untuk *tube* 2 dan 1 mendapatkan pengaruh dari perpindahan panas *tube* sebelumnya (*tube* hulu). Panas dari *tube* hulu akan berpindah ke udara yang selanjutnya akan bersentuhan dengan *tube* hilir. Perpindahan panas juga akan terjadi pada *tube* hilir namun tidak sebesar yang terjadi pada *tube* terbawah. Interaksi antar *tube* inilah menyebabkan perbedaan pada perpindahan panas konveksi masing-masing *tube* di dalam susunan tersebut.

Berdasarkan ketiga grafik diatas, tampak bahwa temperatur terendah terjadi pada $\alpha = 0^\circ$ dan temperatur tertinggi terjadi pada $\alpha = 180^\circ$. Hal ini dapat terjadi karena pada $\alpha = 0^\circ$ merupakan titik stagnasi aliran *buoyant flow* sehingga pada titik tersebut terjadi perpindahan panas yang paling besar. Sebaliknya pada $\alpha = 180^\circ$ *buoyant flow* meninggalkan *tube* sehingga perpindahan panas yang terjadi lebih kecil.

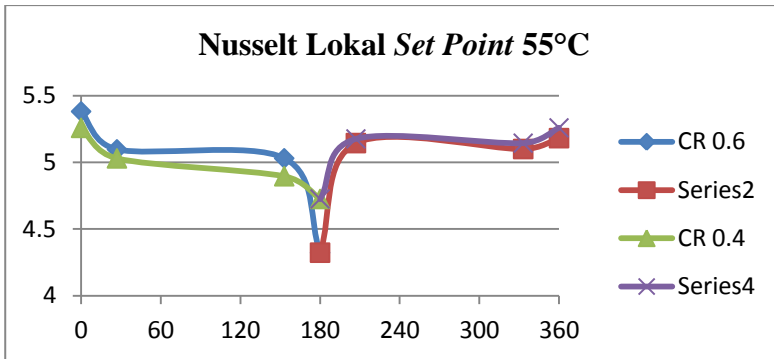
4.3.2 Bilangan *Nusselt* Lokal Permukaan *Elliptical Tube*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan T. Yousefi, 2007 diketahui bahwa *tube*/silinder yang terletak pada bagian paling bawah pada susunan *tube*/silinder memiliki karakter perpindahan panas yang sama seperti silinder/*tube* tunggal. Berdasarkan penelitian T. Yousefi, 2007 didapatkan distribusi *Nusselt number* seperti tampak pada gambar 4.4 di bawah. *Nusselt number* tertinggi terjadi pada sudut $\Theta = 0^\circ$ dan mengalami penurunan hingga mencapai nilai *Nu* minimum pada sudut $\Theta = 180^\circ$ dengan rentang *Nusselt number* antara 5.5 hingga 1.5.



Gambar 4.4 Distribusi *Nusselt Number* untuk Silinder Tunggal

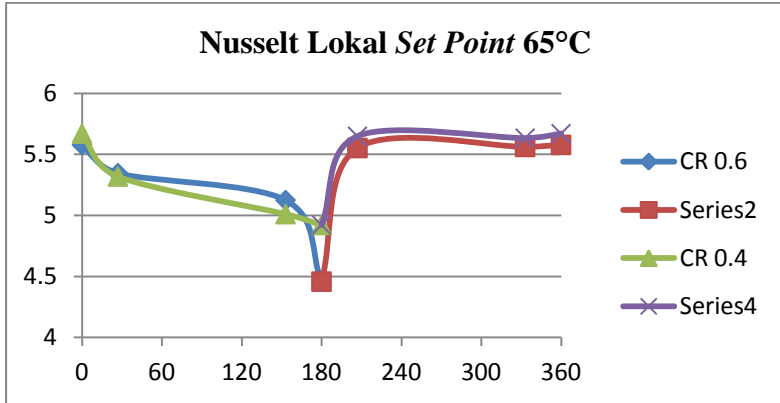
Pada penelitian tugas akhir ini, juga dilakukan analisis untuk mengetahui distribusi *Nusselt number* lokal pada sekeliling *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan distribusi *Nusselt number* seperti pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik *Nusselt Lokal Elliptical Tube* untuk *Set Point 55°C*

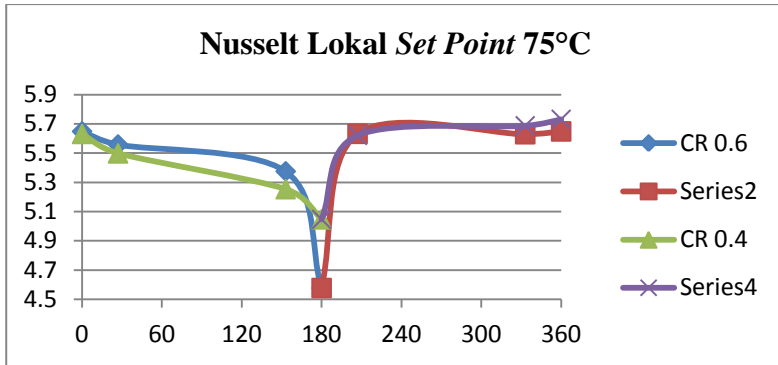
Gambar 4.5 di atas menunjukkan distribusi *Nusselt number* di sekeliling permukaan *elliptical tube* 3 untuk *set point* temperatur referensi 55°C serta CR 0.6 dan 0.4. Kurva berwarna biru menunjukkan distribusi Nu lokal pada permukaan tube untuk CR = 0.6 sedangkan kurva berwarna hijau untuk CR = 0.4. Berdasarkan grafik terlihat bahwa pada CR = 0.6 serta sudut $\alpha < 180^{\circ}$ Nu lokal mengalami penurunan secara gradual sama seperti yang didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh T. Yousefi. Nu lokal maksimum sebesar 5.3806 yang terjadi pada titik stagnasi ($\alpha = 0^{\circ}$) dan Nu lokal minimum sebesar 4.3219 pada $\alpha = 180^{\circ}$. Sedangkan untuk $\alpha > 180^{\circ}$ Nu lokal mengalami kenaikan secara gradual pada sudut $\alpha = 207^{\circ}$ hingga mencapai nilai Nu maksimum lagi pada sudut $\alpha = 360^{\circ}$. Begitu pula yang terjadi pada variasi CR = 0.4, menunjukkan pola distribusi yang sama seperti pada CR = 0.6. Namun, berdasarkan grafik tampak bahwa pada sudut $\alpha < 180^{\circ}$, nilai Nusselt number yang didapatkan pada variasi CR = 0.6 lebih besar daripada CR = 0.4. Hal ini dapat terjadi karena jarak tube dengan dinding logam mempengaruhi perpindahan panas konveksi alami yang terjadi. Semakin kecil jarak antara tube dengan dinding

logam, maka aliran udara konveksi alami yang terjadi akan terhambat dan tidak sekuat aliran udara konveksi alami pada jarak rongga yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan perpindahan panas yang terjadi juga akan semakin kecil.



Gambar 4. 6 Grafik Nusselt Lokal *Elliptical Tube* untuk *Set Point* 65°C

Pola distribusi yang sama juga didapatkan pada *set point* temperatur 65°C dengan nilai Nu lokal tertinggi terjadi pada $\alpha = 0^\circ$ dan Nu lokal terendah pada $\alpha = 180^\circ$. Untuk CR = 0.6, Nu tertinggi sebesar 5.577 dan Nu terendah sebesar 4.457. Sedangkan untuk CR = 0.4 didapatkan Nu tertinggi sebesar 5.669 dan Nu terendah sebesar 4.921. Begitu pula yang terjadi untuk set point temperatur referensi 75°C didapatkan distribusi Nu lokal seperti tampak pada gambar berikut.

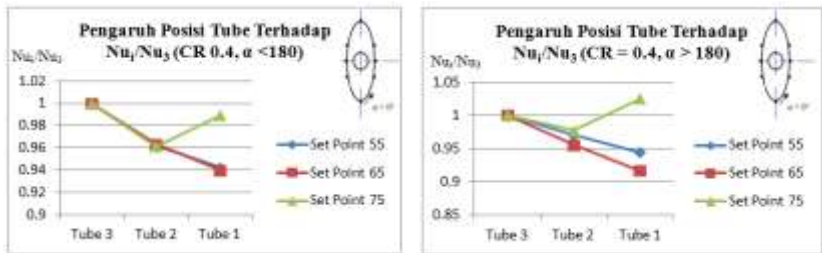


Gambar 4. 7 Grafik Nusselt Lokal *Elliptical Tube* untuk Set Point 75°C

Pola distribusi yang sama juga terlihat pada set point 75°C dimana Nu lokal tertinggi terjadi pada $\alpha = 0^\circ$ dan Nu lokal terendah pada $\alpha = 180^\circ$. Untuk CR = 0.6, Nu tertinggi sebesar 5.6478 dan Nu terendah sebesar 4.5764. Sedangkan untuk CR = 0.4 didapatkan Nu tertinggi sebesar 5.6308 dan Nu terendah sebesar 5.0463.

4.3.3 Pengaruh Susunan *Elliptical Tube* Terhadap Perpindahan Panas Konveksi Alami *Elliptical Tube* di Dalam Rongga Asimetri Termal

Perpindahan panas konveksi alami yang terjadi pada *tube* tunggal berbeda dengan yang terjadi pada susunan *tube*. Untuk mengetahui karakter serta interaksi perpindahan panas antar *tube* pada susunan *elliptical tube* di dalam rongga asimetri termal, maka dilakukan analisis perbandingan antara Nusselt rerata *tube* (\overline{Nu}_1) terhadap Nusselt rerata *tube* 3 (\overline{Nu}_3) yang merupakan *tube* pada posisi paling bawah di dalam susunan *elliptical tube* pada eksperimen tugas akhir kali ini. Berikut akan dilakukan pembahasan mengenai rasio $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ untuk CR 0.4 dan 0.6 pada tiap *set point* temperatur referensi.

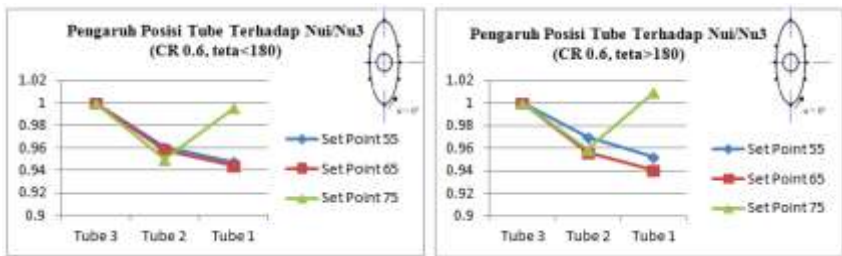


Gambar 4. 8 Grafik Rasio Nu_1/Nu_3 untuk CR = 0.4

Gambar 4.8 di atas menunjukkan perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ masing-masing *tube* pada CR = 0.4. Berdasarkan grafik, diketahui bahwa baik untuk $\alpha < 180$ maupun $\alpha > 180$ dan *set point* 55 serta 65°C terlihat bahwa perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa *Nusselt* rerata *tube* lebih rendah bila dibandingkan dengan *Nusselt* pada *tube* tunggal. Namun, untuk *set point* 75°C terjadi kenaikan perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ pada *tube* teratas (*tube* 1). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi interaksi perpindahan panas diantara *elliptical tube*.

Interaksi perpindahan panas antar *tube* dapat mengakibatkan *Nusselt number* menjadi lebih rendah atau lebih tinggi daripada *Nusselt number* *tube* tunggal. *Tube* 3 merupakan *tube* yang berada pada posisi paling bawah dalam susunan *elliptical tube* dalam eksperimen tugas akhir ini. Oleh karena itu, *tube* 3 tidak mendapatkan pengaruh perpindahan panas dari *tube* manapun sehingga karakteristik perpindahan panasnya serupa dengan perpindahan panas pada *tube* tunggal. Sedangkan untuk *tube* 2 dan 1, memiliki karakter yang berbeda dengan *tube* tunggal karena terkena pengaruh interaksi perpindahan panas dari *tube* sebelumnya. Interaksi ini dapat terjadi karena *plume* dari silinder sebelumnya mempengaruhi karakter perpindahan panas *tube* berikutnya. *Plume* ini memberikan dua pengaruh yang berbeda, pertama yakni berperan sebagai konveksi paksa bagi

tube berikutnya yang menyebabkan meningkatnya perpindahan panas konveksi yang terjadi. Namun adanya *plume* ini juga menyebabkan turunnya beda temperatur antara permukaan *tube* dan udara sehingga menurunkan perpindahan panas. Dua hal tersebut mengakibatkan nilai Nusselt rerata tube dalam susunan berbeda dengan nilai Nusselt rerata tube tunggal, apabila pengaruh konveksi paksa dari *plume* lebih dominan, maka Nusselt rerata tube dalam susunan akan meningkat, dan sebaliknya apabila pengaruh penurunan beda temperatur udara dan permukaan tube lebih signifikan, maka akan menyebabkan Nusselt rerata tube dalam susunan lebih kecil daripada Nusselt rerata tube tunggal.

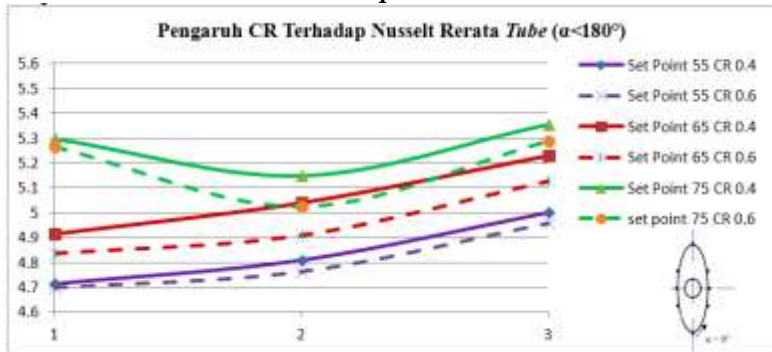


Gambar 4. 9 Grafik Rasio Nu_1/Nu_3 untuk $CR = 0.6$

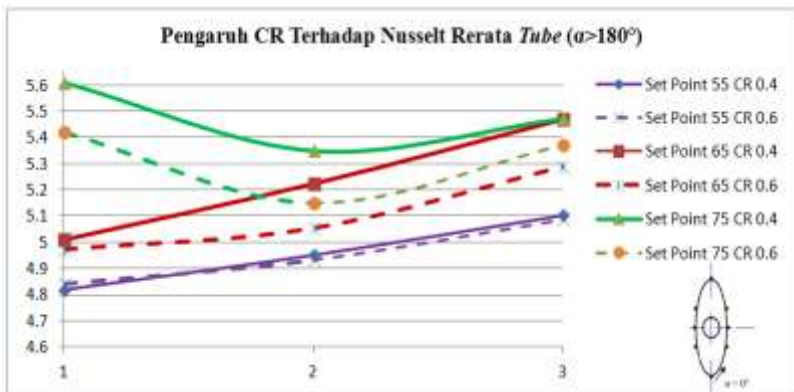
Perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ masing-masing *tube* pada $CR = 0.6$ ditunjukkan pada gambar 4.9 di atas. Berdasarkan grafik terlihat bahwa untuk *set point* 55 dan 65°C perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$ pada *tube* 2 dan *tube* 1 semakin turun. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi interaksi antar tube dimana udara sekitar *tube* 2 dan 1 lebih panas dari pada di sekitar *tube* 3 sehingga beda temperatur yang terjadi antara udara dan permukaan *tube* semakin rendah yang pada akhirnya akan menurunkan perpindahan panas yang terjadi. Namun untuk *set point* 75°C, terjadi kenaikan nilai perbandingan $\overline{Nu}_1/\overline{Nu}_3$. Hal ini terjadi karena pada *set point* yang lebih tinggi maka efek konveksi paksa yang dihasilkan dari *tube* hulu lebih kuat

daripada penurunan beda temperatur yang terjadi, sehingga dalam hal ini efek susunan *tube* justru menyebabkan Nusselt number rerata *tube* dalam susunan lebih tinggi dari pada *tube* tunggal.

4.3.4 Pengaruh CR Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Permukaan *Elliptical Tube*



Gambar 4. 10 Nusselt Rerata *Tube* untuk Variasi CR dan *Set Point* pada $\alpha < 180^\circ$



Gambar 4. 11 Nusselt Rerata *tube* untuk Variasi CR dan *Set Point* pada $\alpha > 180^\circ$

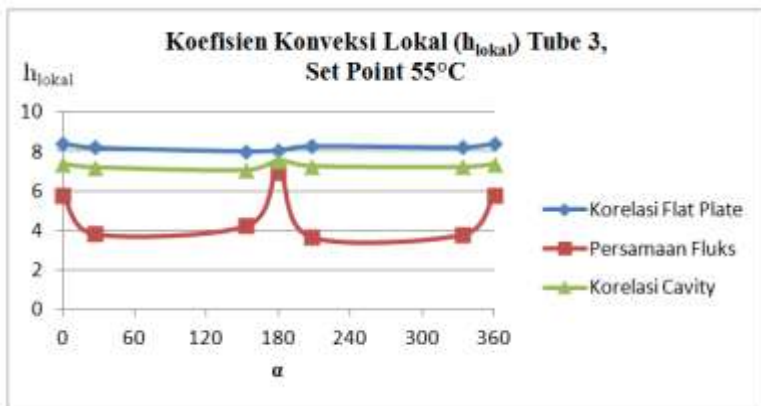
Gambar 4.10 di atas menunjukkan Nusselt rerata *tube* untuk variasi CR 0.6 dan 0.4 serta *set point* temperatur referensi sebesar 55, 65, dan 75°C untuk sudut $\alpha < 180^\circ$. Berdasarkan grafik didapatkan bahwa nilai Nusselt rerata meningkat dari *tube* 1 hingga *tube* 3. Untuk *set point* yang sama, diketahui bahwa pada CR 0.4 memiliki Nusselt rerata *tube* yang lebih besar daripada CR 0.6. Selain itu, untuk CR 0.6 pada semua *set point* didapatkan bahwa selisih antara Nu_3 dan Nu_2 lebih kecil jika dibandingkan pada CR 0.4. Hal yang sama juga terjadi pada permukaan *tube* dengan sudut $\alpha > 180^\circ$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Untuk *set point* yang sama, didapatkan bahwa permukaan *tube* pada CR 0.4 memiliki Nusselt rerata *tube* yang lebih besar daripada CR 0.6. Selain itu, untuk CR 0.6 pada semua *set point* didapatkan bahwa selisih antara Nu_3 dan Nu_2 lebih kecil jika dibandingkan pada CR 0.4.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh T. Yousefi, 2009 yang melakukan eksperimen perpindahan panas konveksi alami susunan *elliptical tube* dengan variasi lebar celah, didapatkan bahwa untuk lebar celah yang lebih kecil, maka Nusselt *number* permukaan *tube* juga akan lebih kecil apabila dibandingkan dengan susunan *tube* pada *free space*. Hal ini terjadi karena pada lebar celah yang sempit interaksi antara dinding dengan *buoyant flow* lebih dominan dan celah yang sempit akan membatasi aliran udara yang terbentuk. Dengan meningkatnya lebar celah, maka aliran udara *buoyant flow* akan lebih bebas mengalir, udara yang mengalir juga lebih banyak sehingga perpindahan panas yang terjadi juga akan semakin besar. Namun peningkatan lebar celah tidak selamanya akan meningkatkan nilai Nusselt number. Ada jarak optimum tertentu dimana Nu akan meningkat seiring meningkatnya lebar celah hingga jarak optimum, lalu setelah itu peningkatan lebar celah yang melebihi jarak optimum tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai Nusselt, bahkan cenderung menurunkan nilai Nu . Pada penelitian tugas akhir kali ini didapatkan bahwa nilai Nusselt rerata lebih tinggi terjadi pada variasi CR = 0.4. Hal ini diduga terjadi karena

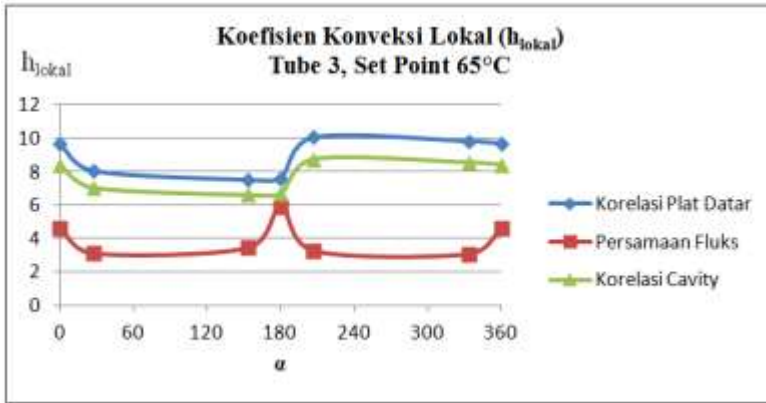
untuk jarak $CR = 0.6$ mungkin sudah melewati batas jarak optimum, sehingga meskipun jarak *tube* dengan dinding dingin lebih besar, namun perpindahan panas yang terjadi lebih kecil daripada $CR = 0.4$.

Selain itu, berdasarkan penelitian T. Yousefi juga didapatkan bahwa pada celah yang lebih sempit, Nusselt number *tube* terbawah selalu lebih besar daripada *tube* berikutnya dan selisih antara keduanya semakin kecil untuk lebar celah yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena pada celah yang sempit, aliran fluida terbatas dan interaksi antara udara dan permukaan *tube* lebih dominan sehingga menyebabkan selisih temperatur antara udara dan permukaan tube 2 dan 3 yang mengakibatkan menurunnya Nusselt number reratanya. Namun, untuk lebar celah yang lebih besar, maka aliran *buoyant flow* menjadi lebih bebas dan pengaruhnya terhadap *tube* di atasnya berkurang sehingga perubahan Nusselt number rerata nya lebih kecil.

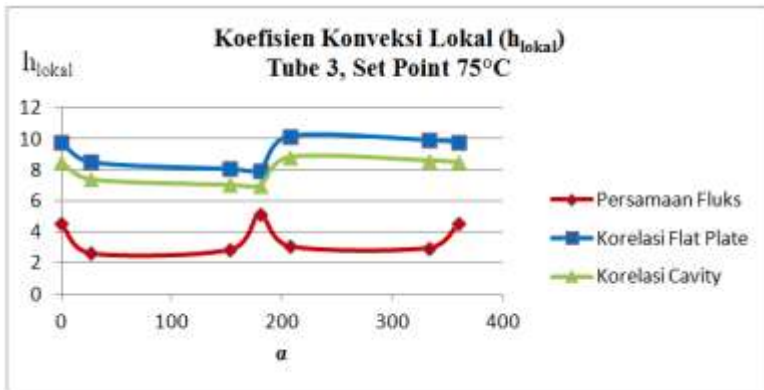
4.3.5 Koefisien Konveksi Alami di Sekeliling Permukaan *Elliptical Tube* di Dalam Rongga Asimetri Termal



Gambar 4. 12 Koefisien Konveksi Lokal *Tube* 3, Set Point 55°C



Gambar 4. 13 Koefisien Konveksi Lokal Tube 3, Set Point 65°C



Gambar 4. 14 Koefisien Konveksi Lokal Tube 3, Set Point 75°C

Grafik di atas menunjukkan koefisien konveksi lokal di permukaan tube 3. Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi lokal dilakukan melalui beberapa pendekatan yakni dari pendekatan korelasi empirik untuk konveksi alami pada plat datar, korelasi konveksi alami pada cavity dengan discrete

heater, serta dari persamaan fluks pemanas. Persamaan empirik konveksi alami pada plat datar yang digunakan berdasarkan dari penelitian Churchill and Chu seperti berikut :

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

Sedangkan untuk persamaan empirik konveksi alami pada *cavity* dengan *descrete heater* menggunakan persamaan dari C.J. Ho dan J.Y Chang seperti berikut :

$$(Nu_h)_i = a_i (Ra^*)^b (AR)^c$$

Dengan koefisien a, b, dan c ditabelkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Koefisien a, b, dan c untuk persamaan konveksi alami *cavity*

<i>i</i>	<i>a_i</i>	<i>b_i</i>	<i>c_i</i>	Averaged deviation (%)	Correlation coefficient
1	1.459	0.194	-0.237	4.03	0.991
2	1.157	0.206	-0.241	3.83	0.990
3	1.049	0.202	-0.213	2.89	0.994
4	0.977	0.194	-0.188	2.87	0.994

Pendekatan menggunakan persamaan fluks *heater* didapatkan dari persamaan berikut :

$$Q_{heater} = Q_{convection}$$

$$V.I = h A \Delta T$$

$$h = \frac{V \cdot I}{A \Delta T}$$

Pendekatan melalui dua korelasi konveksi alami empirik, yakni korelasi pada plat datar dan korelasi pada *cavity* menunjukkan nilai h yang berdekatan dimana nilai h lokal yang didapatkan dari korelasi empirik konveksi alami plat datar menunjukkan nilai h yang sedikit lebih tinggi daripada nilai h lokal yang didapatkan dari pendekatan korelasi empirik konveksi alami pada *cavity*. Hal ini dapat terjadi karena pendekatan menggunakan korelasi plat datar lebih sesuai untuk digunakan pada *elliptical tube* yang digunakan pada penelitian kali ini karena *elliptical tube* yang digunakan memiliki *aspect ratio* ($2a/2b$) sebesar 2,5 dimana geometrinya cenderung mirip dengan plat datar. Sedangkan untuk pendekatan korelasi empirik konveksi alami pada *cavity*, menunjukkan nilai h yang lebih rendah karena C.J Ho dan J.Y. Chang pada penelitiannya menggunakan *descrete heater* yang berjumlah 4 buah, sedangkan dalam penelitian ini sumber panas yang digunakan hanya tiga buah, hal ini yang menyebabkan terjadinya eror atau selisih dengan nilai h lokal yang didapatkan dari korelasi empirik plat datar. Selain itu juga dilakukan pendekatan menggunakan persamaan fluks panas dari heater elektrik yang digunakan sebagai sumber panas. Namun, hasilnya menunjukkan nilai yang jauh berbeda dengan nilai h lokal yang didapatkan dari persamaan korelasi empirik. Hal ini diduga terjadi karena adanya *losses* dari *electric heater* sehingga tidak semua energi listrik digunakan untuk memanaskan *elliptical tube*, sehingga berpengaruh pada koefisien konveksi lokal yang diperoleh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen didapatkan kesimpulan seperti berikut :

1. Untuk posisi $0 \leq \alpha \leq 180$ pada permukaan *elliptical tube* didapatkan bahwa temperatur permukaan *elliptical tube* mengalami kenaikan dengan temperatur minimum terjadi pada $\alpha = 0^\circ$ dan temperatur maksimum terjadi pada $\alpha = 180^\circ$. Sebaliknya, untuk $180 \leq \alpha \leq 360$ temperatur lokal permukaan *elliptical tube* mengalami penurunan.
2. Nusselt rerata *tube* yang tertinggi selalu terjadi pada *tube* ke 3, yakni *tube* pada posisi paling bawah dalam susunan *elliptical tube*.
3. Nusselt lokal *tube* memiliki pola distribusi yang unik dimana Nusselt lokal tertinggi terjadi pada sudut $\alpha = 0^\circ$ lalu menurun secara gradual hingga mencapai nilai Nu minimum pada $\alpha = 180^\circ$. Selanjutnya untuk $\alpha > 180^\circ$ terjadi kenaikan nilai Nu hingga mencapai maksimal pada $\alpha = 360^\circ$.
4. Susunan *elliptical tube* berpengaruh pada karakter perpindahan panas konveksi alami pada masing-masing *tube*. Pada semua nilai CR dan *set point* temperatur didapatkan bahwa Nusselt rerata *tube* tertinggi terjadi pada *tube* 3. Nu rerata untuk *tube* 1 dan 2 lebih rendah daripada *tube* 3 terlihat dari rasio Nu_i/Nu_3 yang kurang dari 1. Namun pada kondisi *set point* 75°C , untuk semua nilai CR didapatkan bahwa rasio Nu rerata *tube* 1 mengalami peningkatan dari nilai rasio Nu rerata *tube* 2. Hal ini disebabkan adanya interaksi perpindahan panas antar *tube* yang mempengaruhi dan memnjadikan nilai Nu rerata *tube* berbeda dengan Nu rerata *tube* 3.
5. *Clearance ratio* (CR) juga memberikan pengaruh pada karakteristik perpindahan panas konveksi alami yang terjadi

di dalam rongga asimetri termal. Untuk CR 0.4 memberikan karakter perpindahan panas yang lebih baik daripada CR 0.6 terlihat dari nilai Nusselt rerata tube yang lebih tinggi pada CR 0.4 pada semua *set point* temperatur.

6. *Clearance Ratio (CR)* juga berpengaruh pada perbedaan nilai Nusselt rerata antara tube 3 dengan tube lainnya. Untuk nilai CR 0.6, didapatkan bahwa selisih antara Nu_{tube} dengan $Nu_{tube\ 3}$ lebih kecil daripada yang terjadi pada CR 0.4.

5.2 Saran

Berdasarkan eksperimen, terdapat beberapa saran untuk penelitian-penelitian serupa di kemudian hari sebagai berikut :

1. Pengukuran temperatur udara dan permukaan *elliptical tube* dilakukan pada titik yang lebih banyak untuk dapat melihat distribusi temperatur yang terjadi secara lebih akurat.
2. Perancangan perangkat eksperimen dilakukan dengan sebaik-baiknya agar memudahkan dalam instalasi, *setting* pengujian, serta penggantian variasi.
3. Sebaiknya menggunakan termokopel dengan ukuran yang sekecil-kecilnya untuk memudahkan pemasangannya pada titik uji tanpa khawatir mengganggu aliran udara yang akan terjadi di dalam *cavity*.
4. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengetahui karakter perpindahan panas konveksi alami di dalam rongga asimetri termal dengan variasi CR dan PR yang lebih beragam serta dimensi *cavity* yang bermacam-macam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badr, H.M. 1997. *Laminar Natural Convection From an Elliptic Tube With Different Orientations*. King Fahd University of Petroleum and Minerals : Saudi Arabia.
- [2] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P. 1981. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*. John Wiley & Sons: United States of America.
- [3] Rohsenow, Warren M. dkk. 1998. *Handbook of Heat Transfer Third Edition*. McGraw-Hill : United States of America.
- [4] Yousefi T. and M. Ashjaee. 2007. *Experimental study of Tehran : Iran of natural convection heat transfer from vertical array of isothermal horizontal elliptic cylinders*. Razi University& University.
- [5] Yousefi T., M. Ashjae dkk. 2007. *AN EMPIRICAL CORRELATION FOR NATURAL CONVECTION FROM CONFINED ELLIPTIC TUBE*. University of Tehran : Iran
- [6] Yousefi, T., M. Paknezhad, dkk. 2008. *Effects of confining walls on heat transfer from a vertical array of isothermal horizontal elliptic cylinders*. Razi University : Tehran.

LAMPIRAN 1 : Hasil Pengukuran Temperatur

		CR = 0.4			CR = 0.6		
	Set Point	55	65	75	55	65	75
Permukaan Tube 1	Tc1.1	58.95454545	69.77907	81.14919	59.28869	70.72959	81.76591
	Tc1.2	58.88636364	69.61628	80.95161	58.51786	70.02296	81.06818
	Tc1.3	58.79545455	69.61047	80.72177	58.38988	69.7602	80.63182
	Tc1.4	56.45454545	66.36047	76.95565	55.21131	65.78827	75.95682
	Tc1.5	58.25	68.77907	79.91935	57.54464	69.02806	79.80227
	Tc1.6	58.43181818	69.15698	80.53226	57.82738	69.05867	80.12727
Udara antar tube 3&2	Tc1.7	45.70454545	51.62209	57.66129	42.80952	48.93622	54.99318
Udara antar tube 2&1	Tc1.8	38.18181818	42.37209	46.99194	45.09226	52.56378	59.60682
Permukaan Tube 2	Tc2.1	55.38636364	65.27326	75.38306	55.54762	65.52806	75.58864
	Tc2.2	55.11363636	65.10465	75.11694	55.33929	65.28571	75.26136
	Tc2.3	55	65	75	55	65	75
	Tc2.4	54.54545455	64.05814	74.02016	54.66071	64.43367	74.10455
	Tc2.5	55.34090909	64.64535	75.33871	55.47619	65.56378	75.68182
	Tc2.6	55.43181818	65.22674	74.68548	55.4881	65.55612	75.68864

Dinding bagian bawah	Tc2.7	32.88636364	34.55814	36.68952	50.02976	26.51531	26.59773
Dinding bagian atas	Tc2.8	27.13636364	27.01744	27.02016	31.4256	33.71173	35.58864
Permukaan Tube 3	Tc3.1	52.06818182	60.27326	69.29839	51.96131	60.83163	70.08636
	Tc3.2	51.5	59.80233	68.87097	51.44345	60.31888	69.67955
	Tc3.3	51.20454545	59.46512	68.33871	50.05952	58.71429	67.89091
	Tc3.4	49.77272727	57.46512	65.85081	49.69048	58.09184	66.76364
	Tc3.5	49.97727273	57.99419	66.75806	50.27083	59.73214	68.56591
	Tc3.6	50.93181818	59.28488	68.43952	50.97619	60.3699	68.91136
Temperatur Udara	Tc4.1	42.46636364	48.05279	55.09016	59.11982	52.94347	59.11982
	Tc4.2	47.44636364	53.62651	60.56952	58.89673	52.88786	58.89673
	Tc4.3	43.73909091	48.31581	54.31855	54.14055	49.01276	54.14055
	Tc4.4	39.49909091	43.24814	47.19355	45.72191	42.23929	45.72191
	Tc4.5	35.74636364	38.40186	41.25774	40.11555	37.78643	40.11555
	Tc4.6	42.89545455	47.59233	51.67887	54.71591	49.23255	54.71591
	Tc4.7	38.54909091	42.21977	46.61661	47.89309	43.87163	47.89309
	Tc4.8	34.48272727	36.69233	39.45839	41.12955	38.80469	41.12955

LAMPIRAN 2 : Persamaan Regresi Temperatur Udara di sisi Kanan dan Kiri *Cavity*

Kanan

CR	Set Point	Jarak y/H				persamaan
		0.058	0.323	0.664	0.939	
0.4	55	35.75	39.5	43.74	47.45	$y = 5.1634x^3 - 8.229x^2 + 16.633x + 34.812$
	65	38.4	43.25	48.32	53.63	$y = 14.615x^3 - 20.939x^2 + 24.432x + 37.051$
	75	41.26	47.19	54.32	60.57	$y = 6.1004x^3 - 8.7978x^2 + 24.958x + 39.841$
0.6	55	34.87	38.38	43.14	45.88	$y = -8.6987x^3 + 10.268x^2 + 10.433x + 34.232$
	65	37.79	42.14	49.01	52.89	$y = -18.114x^3 + 25.087x^2 + 9.147x + 37.179$
	75	40.12	45.72	54.14	58.9	$y = -20.272x^3 + 27.059x^2 + 13.385x + 39.257$ $y = -42.398x^3 + 60.328x^2 - 1.323x + 37.872$

Kiri

CR	Set Point	Jarak y/H				Persamaan
		0.058	0.323	0.664	0.939	
0.4	55	34.48	38.55	42.9	42.47	$y = -21.514x^3 + 18.188x^2 + 11.149x + 33.776$
	65	36.69	42.22	47.59	48.05	$y = -16.345x^3 + 8.6317x^2 + 19.646x + 35.525$
	75	39.46	46.62	51.68	55.09	$y = 18.32x^3 - 39.244x^2 + 39.655x + 37.288$
0.6	55	35.56	39.34	43.06	45.96	$y = 5.6142x^3 - 11.403x^2 + 17.899x + 34.559$
	65	38.8	43.87	49.23	52.94	$y = 2.2892x^3 - 8.0253x^2 + 21.9x + 37.556$
	75	41.13	47.89	54.72	59.12	$y = 2.8399x^3 - 12.011x^2 + 29.727x + 39.446$

LAMPIRAN 3 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 55°C

Set Point 55 (CR 0.4)																	0.4		
Tube 1																			
Tub	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 konveksi	h rata2 konveksi	Nu Kanal	Nu kanal
1	58.9545	44.06	51.9579	324.957	0.01662	9.81	0.00308	2.5527E-05	3.8266E-05	0.73701	0.02785	4156.4704	4.82629	8.0853	0.13431	7.87264308	8.05602	4.71455	4.81835
2	58.8864	46.9489	52.9176	325.918	0.01662	9.81	0.00307	2.5514E-05	3.8079E-05	0.71416	0.02772	3601.6812	4.6664	7.78602	0.12937				
3	58.7955	45.2978	52.0466	325.047	0.01662	9.81	0.00308	2.5293E-05	3.8064E-05	0.71418	0.02771	4090.0848	4.79518	7.99801	0.13289				
4	58.4545	45.7045	51.0799	324.08	0.01662	9.81	0.00309	2.5295E-05	3.8069E-05	0.71418	0.02772	3266.7777	4.57032	7.62024	0.12667				
5	58.25	43.3287	50.7894	323.789	0.01662	9.81	0.00309	2.5154E-05	3.7967E-05	0.7143	0.02765	4588.7623	4.91534	8.17801	0.13588				
6	58.4318	42.8178	50.0248	323.625	0.01662	9.81	0.00309	2.5186E-05	0.00001799	0.71427	0.02766	4792.0099	4.96145	8.25952	0.13724				
Tube 2																			
Tub	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 konveksi	h rata2 konveksi	Nu Kanal	Nu kanal
1	55.3864	45.7045	50.5455	323.545	0.01662	9.81	0.00309	2.5235E-05	3.8024E-05	0.71423	0.02769	2960.7553	4.47586	7.45759	0.12391	7.95198006	8.18368	4.80982	4.95095
2	55.1136	42.4298	48.7717	321.772	0.01662	9.81	0.00311	2.4748E-05	3.7886E-05	0.71466	0.02744	4052.9214	4.78611	7.90453	0.13134				
3	55	40.9991	47.9796	320.98	0.01662	9.81	0.00312	2.4732E-05	3.7875E-05	0.71467	0.02743	4503.3325	4.89573	8.08322	0.13431				
4	54.5455	38.1818	46.3636	319.364	0.01662	9.81	0.00313	2.4552E-05	3.7551E-05	0.71483	0.02734	5351.0746	5.0816	8.56258	0.13895				
5	55.3409	40.3487	47.8448	320.845	0.01662	9.81	0.00312	2.4726E-05	3.7871E-05	0.71468	0.02743	4812.7385	4.96635	8.19893	0.13623				
6	55.4318	35.7012	45.5665	318.567	0.01662	9.81	0.00314	2.4717E-05	3.7665E-05	0.71468	0.02743	6385.5966	5.27998	8.71543	0.14481				
Tube 3																			
Tub	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 konveksi	h rata2 konveksi	Nu Kanal	Nu kanal
1	52.0682	38.1818	45.125	318.125	0.01662	9.81	0.00314	2.4368E-05	3.7428E-05	0.715	0.02725	4626.8274	4.92456	8.07658	0.1342	8.18946809	8.25267	5.0016	5.05018
2	51.5	38.0109	44.7554	317.755	0.01662	9.81	0.00315	2.4368E-05	3.7432E-05	0.715	0.02725	4499.701	4.8951	8.02826	0.1334				
3	51.2045	36.2753	43.7399	316.74	0.01662	9.81	0.00316	2.4119E-05	0.00001725	0.71522	0.02712	5098.2528	5.02892	8.20931	0.1364				
4	49.7727	33.115	41.4439	314.444	0.01662	9.81	0.00318	2.4119E-05	0.00001725	0.71522	0.02712	5730.0659	5.15782	8.41972	0.1399				
5	48.9779	34.9377	42.4575	315.457	0.01662	9.81	0.00317	2.4097E-05	3.7285E-05	0.71524	0.02711	5166.0078	5.04332	8.22947	0.13674				
6	50.9518	35.3861	43.159	316.159	0.01662	9.81	0.00316	0.00002412	3.7251E-05	0.71522	0.02713	5317.9985	5.07505	8.28491	0.13766				

LAMPIRAN 4 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 65°C

Set Point 65																			
Tube 1																			
Titik	Ta	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kanal	h rata2 km	Nu kanal	Nu Km
1	69.7791	50.84	60.5095	333.31	0.01662	9.81	0.003	0.000026751	0.000019073	0.71318	0.02851	5011.73	5.00897	8.53366	0.14179	8.999558	8.533562	4.914109	5.01071
2	69.6165	52.8599	61.2281	334.238	0.01662	9.81	0.00299	0.000026861	0.00001915	0.71291	0.02848	4591.35	4.86812	8.54321	0.13863				
3	69.6105	50.3998	60.0051	333.005	0.01662	9.81	0.003	0.000026683	0.000019128	0.71293	0.02846	5058.68	5.0189	8.5971	0.14285	Nu	Nu		
4	66.3605	51.6211	58.9913	331.991	0.01662	9.81	0.00301	0.000026611	0.000018976	0.7131	0.02836	3996.33	4.76042	8.12426	0.13499				
5	68.7791	48.3597	58.5694	331.569	0.01662	9.81	0.00302	0.000026412	0.000018838	0.71326	0.02826	5570.16	5.12488	8.71664	0.14483				
6	69.157	48.2597	58.7084	331.708	0.01662	9.81	0.00301	0.000026431	0.000018852	0.71325	0.02827	5689.8	5.14855	8.75969	0.14555				
Tube 2																			
Titik	Ta	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kanal	h rata2 km		
1	65.2733	51.6211	55.4477	331.448	0.01662	9.81	0.00302	0.00002652	0.000018907	0.71423	0.02769	3696.53	4.69243	7.81844	0.12991	8.477363	8.49372	5.039616	5.06221
2	65.1047	46.7057	55.9052	328.905	0.01662	9.81	0.00304	0.000025861	0.00001915	0.71291	0.02848	4894.04	4.98515	8.54035	0.14191				
3	65	44.9713	54.9855	327.986	0.01662	9.81	0.00305	0.000025317	0.00001808	0.71416	0.02773	6005.82	5.20962	8.69302	0.14444				
4	64.0581	42.3721	53.2151	326.215	0.01662	9.81	0.00307	0.000025691	0.000018339	0.71385	0.02791	6349.73	5.27327	8.85764	0.14718				
5	64.6455	44.422	54.5337	327.534	0.01662	9.81	0.00305	0.000025771	0.000018395	0.71378	0.02795	5861.41	5.18224	8.7169	0.14484				
6	65.2267	46.3371	55.7819	328.782	0.01662	9.81	0.00304	0.000025783	0.000018403	0.71377	0.02796	5449.15	5.10089	8.5819	0.1426				
Tube 3																			
Titik	Ta	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	α	ν	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kanal	h rata2 km		
1	80.2733	42.3721	51.5227	324.323	0.01662	9.81	0.00308	2.77156E-05	1.93489E-05	0.70816	0.02572	4631.9	4.92115	7.6177	0.12857	8.330152	9.307043	5.229831	5.46784
2	59.8023	41.4203	50.6113	323.611	0.01662	9.81	0.00309	2.75923E-05	1.83439E-05	0.70901	0.02496	5050.4	5.01031	7.52694	0.12507				
3	59.4651	39.1311	49.2981	322.298	0.01662	9.81	0.0031	2.47088E-05	1.72512E-05	0.69809	0.02521	6668.61	5.31824	8.06905	0.13407				
4	57.4651	34.54	46.0026	319.003	0.01662	9.81	0.00313	2.2807E-05	1.58308E-05	0.69363	0.02845	8957.42	5.66971	9.70991	0.16129				
5	57.9942	37.391	47.6926	320.693	0.01662	9.81	0.00312	2.20107E-05	1.5045E-05	0.68673	0.02903	8730.85	5.63225	9.84418	0.16952				
6	59.2849	39.912	49.5984	322.598	0.01662	9.81	0.0031	2.12978E-05	1.4303E-05	0.68206	0.0296	8871.71	5.64826	10.0624	0.16719				

LAMPIRAN 5 : Perhitungan, CR = 0.4 Set Point 75°C

Set Point 75																
Tube 1																
Titik	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	Ø	α	ε	Pr	k	Ra	No plate	h lokal	h rata2 ke h rata2 ke	No kawat
1	81.1492	57.85	69.4896	342.49	0.01662	9.81	0.00292	3.08652E-05	2.14856E-05	0.70633	0.02715	4620.46	4.9173	8.03572	0.13352	8.80396
2	80.9516	59.7384	70.345	343.345	0.01662	9.81	0.00291	2.07591E-05	2.07591E-05	0.71291	0.02859	6452.02	5.29098	8.46701	0.14088	
3	80.7218	56.9662	68.844	341.844	0.01662	9.81	0.00293	1.97116E-05	1.97116E-05	0.71293	0.02679	8048.79	5.55308	8.95323	0.14877	
4	76.9556	57.83	67.3928	340.393	0.01662	9.81	0.00294	1.86361E-05	1.86361E-05	0.7131	0.02983	7280.5	5.4525	9.75987	0.16217	
5	79.9194	53.098	66.5087	339.509	0.01662	9.81	0.00295	1.75898E-05	1.75898E-05	0.71326	0.03023	11490.7	6.00696	10.9293	0.1816	
6	80.5523	54.8098	67.571	340.571	0.01662	9.81	0.00294	1.68026E-05	1.68026E-05	0.71325	0.03072	12152.5	6.07983	11.2389	0.18674	
Tube 2																
Titik	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	Ø	α	ε	Pr	k	Ra	No plate	h lokal	h rata2 ke h rata2 ke	No kawat
1	75.3831	57.83	66.6065	339.607	0.01662	9.81	0.00294	3.08654E-05	2.11465E-05	0.70662	0.02693	5622.59	4.86737	7.56343	0.12567	8.43041
2	75.1169	52.093	63.604	336.604	0.01662	9.81	0.00297	2.86029E-05	1.99341E-05	0.70305	0.02603	5399.16	5.08253	7.96332	0.13232	9.4198
3	75	49.5085	62.3043	335.304	0.01662	9.81	0.00298	2.71342E-05	1.88817E-05	0.69745	0.02626	6651.58	5.31479	8.4	0.13937	5.15013
4	74.0202	46.9919	60.506	333.506	0.01662	9.81	0.003	2.55927E-05	1.77329E-05	0.6932	0.0294	8036.25	5.33582	9.79487	0.16275	5.34835
5	75.3387	48.5761	62.0074	335.007	0.01662	9.81	0.00299	2.48154E-05	1.6981E-05	0.6867	0.02994	8496.23	5.59862	10.0897	0.16765	
6	74.6835	50.3811	62.5333	335.533	0.01662	9.81	0.00298	2.38951E-05	1.61025E-05	0.68227	0.0304	8472.23	5.59153	10.2312	0.17	
Tube 3																
Titik	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	Ø	α	ε	Pr	k	Ra	No plate	h lokal	h rata2 ke h rata2 ke	No kawat
1	69.2984	46.9919	58.1452	331.145	0.01662	9.81	0.00302	2.88984E-05	2.01515E-05	0.70747	0.02626	5205.59	5.0463	7.07484	0.13251	8.58159
2	68.871	44.7842	56.8276	329.828	0.01662	9.81	0.00303	2.73814E-05	1.91047E-05	0.70255	0.02547	6282.49	5.25287	8.05346	0.13981	9.46731
3	68.5387	42.0654	55.2021	328.202	0.01662	9.81	0.00305	2.58097E-05	1.79804E-05	0.6978	0.02569	7762.92	5.49759	8.49905	0.14222	5.35688
4	65.8508	40.36	53.1054	326.105	0.01662	9.81	0.00307	2.41712E-05	1.67623E-05	0.69342	0.02891	6682.17	5.63076	9.79823	0.16281	5.47111
5	66.7581	43.6156	55.1868	328.187	0.01662	9.81	0.00305	2.34842E-05	1.60585E-05	0.68671	0.02951	8414.76	5.5868	9.92231	0.16487	
6	68.4395	46.0933	57.2664	330.266	0.01662	9.81	0.00305	2.28375E-05	1.53095E-05	0.68218	0.03008	8674.96	5.62058	10.1799	0.16905	

LAMPIRAN 6 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 55°C

Set Point 55 CR 0.6																
Tube 1																
Titik	T _a	T _w	T _f	T _f (K)	L	g	β	α	ε	Pr	k	R _a	Nu plate	h lokal	h rata2 karman	h rata2 kin
1	50.2887	45.9216	52.6051	325.605	0.01662	9.81	0.00507	2.79379E-05	1.95E-05	0.70803	0.02582	5381.2522	4.60506	7.15353	0.11886	7.61912245
2	50.5179	45.6342	52.076	325.076	0.01662	9.81	0.00508	2.65248E-05	1.8523E-05	0.7029	0.02508	3630.1346	4.66713	7.04533	0.11706	
3	50.5899	44.5431	51.4665	324.466	0.01662	9.81	0.00508	2.5113E-05	1.7506E-05	0.69799	0.02539	4368.5616	4.85269	7.41388	0.12319	
4	50.1113	45.0923	50.1518	323.152	0.01662	9.81	0.00509	2.36059E-05	1.6375E-05	0.6935	0.02872	3645.8985	4.6654	8.06395	0.13399	
5	57.5466	44.3004	50.9225	323.923	0.01662	9.81	0.00809	2.26458E-05	1.5482E-05	0.68672	0.02924	5248.2505	5.04055	8.86975	0.14738	
6	57.8174	45.577	51.7022	324.702	0.01662	9.81	0.00808	2.17203E-05	1.4596E-05	0.68209	0.02766	5355.6966	5.05934	8.42248	0.13995	
Tube 2																
Titik	T _a	T _w	T _f	T _f (K)	L	g	β	α	ε	Pr	k	R _a	Nu plate	h lokal	h rata2 karman	h rata2 kin
1	55.5476	45.0923	50.3199	323.32	0.01662	9.81	0.00309	2.75418E-05	1.9231E-05	0.70826	0.02564	2747.5740	4.4011	6.79329	0.11288	7.46216335
2	55.3393	41.7413	48.5403	321.54	0.01662	9.81	0.00511	2.58874E-05	1.809E-05	0.70316	0.02479	4065.8317	4.7814	7.13388	0.11854	
3	55	40.0483	47.5242	320.524	0.01662	9.81	0.00512	2.43778E-05	1.7006E-05	0.69818	0.02507	3063.862	5.00979	7.55784	0.12558	
4	54.6607	42.8095	48.7951	321.795	0.01662	9.81	0.00511	2.33318E-05	1.6189E-05	0.69355	0.02863	4388.6038	4.85451	8.36364	0.13897	
5	55.4762	40.6889	48.0825	321.083	0.01662	9.81	0.00511	2.20873E-05	1.5098E-05	0.68673	0.02906	6215.1664	5.22885	9.14414	0.15194	
6	55.4881	41.973	48.7306	321.733	0.01662	9.81	0.00511	2.11235E-05	1.4182E-05	0.68205	0.02955	6310.2879	5.24282	9.32274	0.15491	
Tube 3																
Titik	T _a	T _w	T _f	T _f (K)	L	g	β	α	ε	Pr	k	R _a	Nu plate	h lokal	h rata2 karman	h rata2 kin
1	51.9613	42.8095	47.3854	320.385	0.01662	9.81	0.00512	2.7033E-05	1.8886E-05	0.70855	0.02542	2517.9017	4.52192	6.60937	0.10982	7.64106752
2	51.4435	36.8158	39.2268	312.227	0.01662	9.81	0.0052	2.42085E-05	1.6951E-05	0.70384	0.02402	5137.8933	5.02952	7.27151	0.12082	
3	50.0595	35.271	42.6652	315.665	0.01662	9.81	0.00517	2.34716E-05	1.639E-05	0.69843	0.02467	5480.5708	5.09646	7.56815	0.12575	
4	49.6905	33.22	41.4552	314.455	0.01662	9.81	0.00518	2.18556E-05	1.5234E-05	0.69376	0.02815	7054.2119	5.38058	8.11524	0.15146	
5	50.1708	36.1122	43.1915	316.192	0.01662	9.81	0.00516	2.11256E-05	1.4436E-05	0.68674	0.02875	6607.5876	5.29902	9.16747	0.15233	
6	50.9762	37.8879	44.432	317.432	0.01662	9.81	0.00515	2.02604E-05	1.3584E-05	0.71522	0.02928	6741.8551	5.3436	9.4166	0.15646	

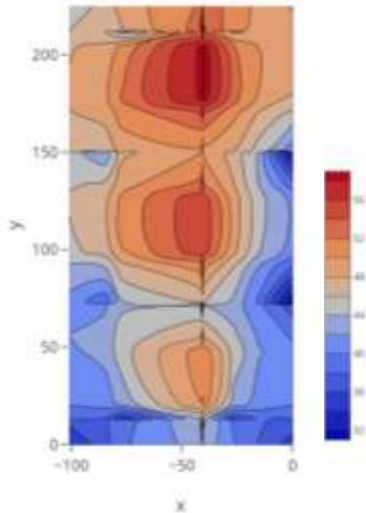
LAMPIRAN 7 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 65°C

Set Point 65																
Tipe 1																
Tipe	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	u	v	Pr	u	Ra	Nu plate	h lokal	h rata2 kanal	h rata2 kor
1	70.7296	52.92	61.8248	334.825	0.01662	9.81	0.00399	2.95364E-05	2.05841E-05	0.7071	0.02655	3937.16	4.75181	7.59211	0.12615	7.842901
2	70.033	52.5751	61.199	334.299	0.01662	9.81	0.00399	2.81874E-05	1.9652E-05	0.70222	0.02584	4240.15	4.82455	7.50391	0.12468	
3	69.7602	51.0586	60.4094	333.409	0.01662	9.81	0.003	3.67809E-05	1.86413E-05	0.69754	0.02611	5056.34	5.00777	7.86862	0.13074	
4	65.7883	52.0638	59.176	332.176	0.01662	9.81	0.00301	2.53372E-05	1.75585E-05	0.69324	0.02931	4027.17	4.76556	8.40697	0.13969	
5	69.0281	50.9117	59.9699	332.97	0.01662	9.81	0.003	3.44247E-05	1.67054E-05	0.6867	0.02981	6000.89	5.18913	9.31118	0.15471	
6	69.0587	52.4963	60.7775	333.777	0.01662	9.81	0.003	2.35425E-05	1.58578E-05	0.68224	0.03029	5981.45	5.18212	9.44811	0.15699	
Tipe 2																
Tipe	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	u	v	Pr	u	Ra	Nu plate	h lokal	h rata2 kanal	h rata2 kor
1	85.3281	52.9638	59.0459	332.046	0.01662	9.81	0.00301	2.90546E-05	2.02572E-05	0.70758	0.02633	2985.32	4.4796	7.09841	0.11795	7.870129
2	85.2857	46.9499	56.1178	329.118	0.01662	9.81	0.00304	2.72534E-05	1.90179E-05	0.7026	0.02542	4837.29	4.96362	7.59249	0.12816	
3	85	44.4872	54.7436	327.744	0.01662	9.81	0.00305	2.57342E-05	1.79223E-05	0.69782	0.02565	6109.29	5.21757	8.05448	0.13383	
4	64.4337	48.9862	56.6849	329.685	0.01662	9.81	0.00303	2.48588E-05	1.72318E-05	0.69391	0.02915	4938.41	4.97996	8.73513	0.14514	
5	65.5638	45.8097	55.6867	328.687	0.01662	9.81	0.00304	2.35815E-05	1.61261E-05	0.68671	0.02954	7111.97	5.38473	9.57376	0.15908	
6	65.5561	47.6772	56.6167	329.617	0.01662	9.81	0.00305	2.2707E-05	1.52791E-05	0.68217	0.03004	7035.72	5.36854	9.70465	0.16125	
Tipe 3																
Tipe	Ts	Tm	Tf	Tf (K)	L	g	β	u	v	Pr	u	Ra	Nu plate	h lokal	h rata2 kanal	h rata2 kor
1	60.8316	48.9562	54.8839	327.884	0.01662	9.81	0.00305	2.8333E-05	1.97677E-05	0.7078	0.026	2915.04	4.45729	6.97501	0.1139	8.081302
2	60.3189	40.0647	50.1918	323.192	0.01662	9.81	0.00309	2.75199E-05	1.82928E-05	0.70304	0.02493	3602.39	5.11409	7.8872	0.13773	
3	58.7143	38.2176	48.466	321.466	0.01662	9.81	0.00311	2.49534E-05	1.71256E-05	0.69814	0.02514	6823.77	5.34502	8.08805	0.13439	
4	58.0918	36.31	47.2009	320.201	0.01662	9.81	0.00312	2.30072E-05	1.59879E-05	0.69359	0.02853	8511.63	5.57721	9.57495	0.1591	
5	59.7321	39.5029	49.6175	322.618	0.01662	9.81	0.0031	2.23892E-05	1.53053E-05	0.68672	0.02916	8234.68	5.56034	9.75657	0.16211	
6	60.3699	41.8508	51.1104	324.11	0.01662	9.81	0.00309	2.16014E-05	1.45133E-05	0.68208	0.02969	8201.91	5.55173	9.92172	0.16486	

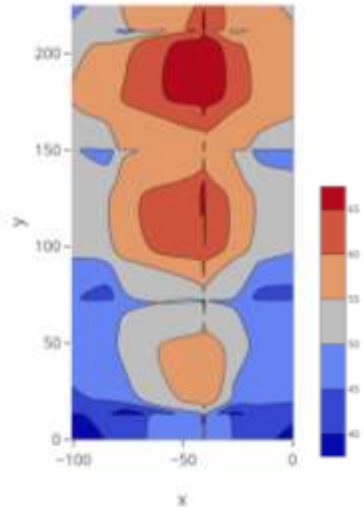
LAMPIRAN 8 : Perhitungan, CR = 0.6 Set Point 75°C

Set Point 75																			
Tube 1																			
Time	Ta	Tm	Tf	TF (K)	L	g	β	α	ρ	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kor	h rata2 kor	Nu kanal	Nu kor
1	81.7659	59.01	70.588	345.988	0.01662	9.81	0.00291	5.10209E-05	2.15912E-05	0.70624	0.02722	4452.58	4.87821	7.99265	0.1328	8.74377	9.67308	5.26558	5.41932
2	81.0682	58.6035	69.7838	342.786	0.01662	9.81	0.00292	2.06906E-05	2.06906E-05	0.71291	0.02654	6919.82	5.37238	8.38235	0.1426				
3	80.6318	58.6353	68.6336	341.634	0.01662	9.81	0.00293	1.96849E-05	1.96849E-05	0.71293	0.02677	8157.52	5.56945	8.97393	0.14911				
4	79.9568	59.6068	67.7818	340.782	0.01662	9.81	0.00295	1.86871E-05	1.86871E-05	0.7131	0.02988	6182.91	5.24226	9.42815	0.15682				
5	79.8023	56.7566	68.2794	341.279	0.01662	9.81	0.00293	1.78292E-05	1.78292E-05	0.71326	0.03034	9559.81	5.76751	10.5328	0.17501				
6	80.1273	58.613	69.3702	342.37	0.01662	9.81	0.00292	1.70528E-05	1.70528E-05	0.71325	0.03083	9714.6	5.78929	10.7407	0.17847				
Tube 2																			
Time	Ta	Tm	Tf	TF (K)	L	g	β	α	ρ	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kor	h rata2 kor		
1	75.5886	59.6068	67.5977	340.598	0.01662	9.81	0.00294	3.05372E-05	2.12631E-05	0.70652	0.027	3252.13	4.56125	7.41293	0.12317	8.22918	9.11331	5.02448	5.15066
2	75.2614	51.6324	63.4469	336.447	0.01662	9.81	0.00297	2.85746E-05	1.99148E-05	0.70206	0.02602	5554.01	5.11377	8.00828	0.13806				
3	75	48.621	61.8105	334.811	0.01662	9.81	0.00299	2.70422E-05	1.8819E-05	0.69747	0.02622	6967.16	5.36883	8.47252	0.14078				
4	74.1045	54.9932	64.5489	337.549	0.01662	9.81	0.00296	2.63692E-05	1.82631E-05	0.69308	0.02966	5290.77	5.05391	9.02298	0.14992				
5	75.6818	50.412	63.0469	336.047	0.01662	9.81	0.00298	2.50298E-05	1.71218E-05	0.6867	0.03001	7896.54	5.50948	9.95095	0.16534				
6	75.6886	52.7899	64.2593	337.259	0.01662	9.81	0.00297	2.42376E-05	1.63392E-05	0.68229	0.03051	7715.89	5.47806	10.0584	0.16713				
Tube 3																			
Time	Ta	Tm	Tf	TF (K)	L	g	β	α	ρ	Pr	k	Ra	Nu plate	h lokal		h rata2 kor	h rata2 kor		
1	70.0864	54.9932	62.5598	335.54	0.01662	9.81	0.00298	2.96603E-05	2.06682E-05	0.70703	0.02661	3302.13	4.57641	7.3277	0.12176	8.49149	9.34757	5.28938	5.37114
2	69.5795	43.1089	56.3932	329.393	0.01662	9.81	0.00304	2.75031E-05	1.90518E-05	0.70258	0.02544	6979.52	5.37472	8.22871	0.13673				
3	67.8909	40.7002	54.2955	327.296	0.01662	9.81	0.00306	2.56406E-05	1.78654E-05	0.69785	0.02561	8161.6	5.55832	8.56841	0.14237				
4	66.7636	40.63	53.6968	326.697	0.01662	9.81	0.00306	2.42848E-05	1.68399E-05	0.6934	0.02895	8802.72	5.64784	9.84115	0.16352				
5	68.5659	44.0791	56.3225	329.323	0.01662	9.81	0.00304	2.37075E-05	1.62121E-05	0.68671	0.02958	8706.01	5.62871	10.0215	0.16651				
6	68.9114	46.2238	57.5673	330.567	0.01662	9.81	0.00303	2.28979E-05	1.54113E-05	0.68219	0.0301	8752.62	5.63161	10.2002	0.16948				

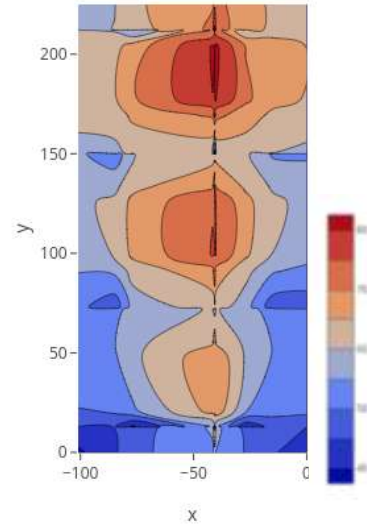
LAMPIRAN 9 : Visualisasi Garis Isotermal pada *Elliptical Tube* di Dalam Rongga Asimetri Termal (CR=0.4)



Set Point 55°C

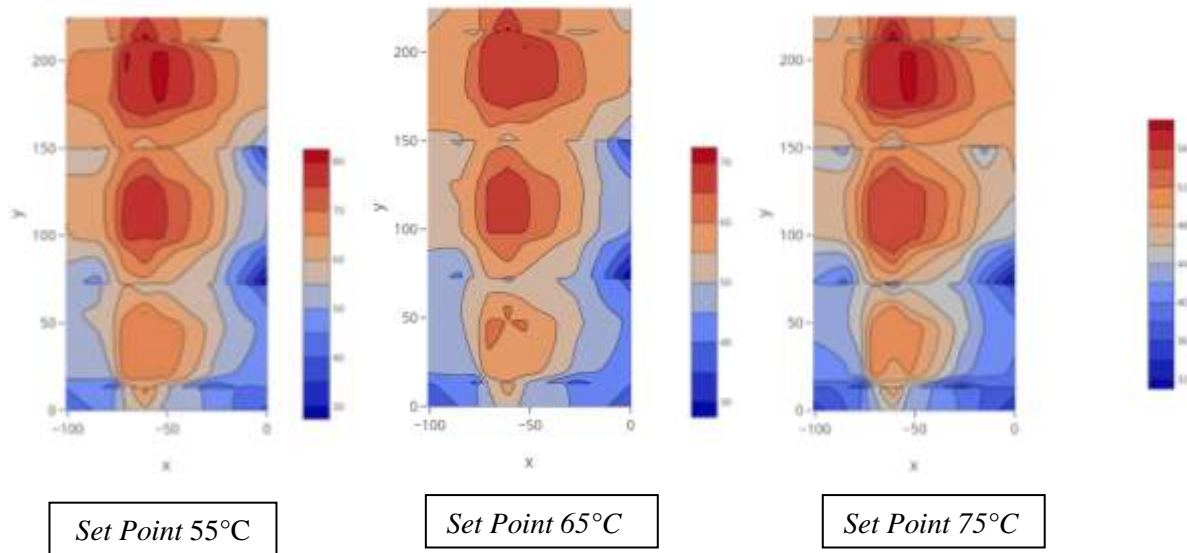


Set Point 65°C



Set Point 75°C

LAMPIRAN 10 : Visualisasi Garis Isotermal pada *Elliptical Tube* di Dalam Rongga Asimetri Termal (CR=0.6)



BIODATA PENULIS



Nila Rahmawati merupakan anak pertama dari pasangan Khusnul Hadi dan Hidayatus Sholichah. Penulis lahir di Gresik pada tanggal 28 Maret 1996, memulai pendidikan dari jenjang Sekolah Dasar di MINU Sukodono pada tahun 2002, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Gresik lulus tahun 2011 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Gresik lulus tahun 2014. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya mulai tahun 2014.

Semasa kuliah penulis aktif dalam beberapa organisasi seperti Staff BSO Keputrian Ash-Shaff Teknik Mesin ITS, Kabiرو HRD DIMENSI Mesin ITS, dan Asistant di Laboratorium Rekayasa Termal Departemen Teknik Mesin ITS. Penulis juga aktif mengikuti pelatiha seperti Pelatihan ISO 50001 Energy Management Awareness, Ingersoll Basic Air Compressor Training, Basic Media Schooling, dan LKMM Pra-TD . Apabila terdapat pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis dapat melalui email : nila.rahmawati76@yahoo.co.id.